

HELSINGIN YLIOPISTO

Tuhojen merkitys joulukuusenviljelyssä

Pro gradu -tutkielma
Metsätieteiden laitos
Metsien ekologia ja käyttö

Holtti Hakonen

Toukokuu 2017

Tiedekunta – Fakultet – Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta	Laitos – Institution – Department Metsätieteiden laitos
Tekijä – Författare – Author Holtti Hakonen	
Työn nimi – Arbetets titel – Title Tuhojen merkitys joulukuusenviljelyssä	
Oppiaine – Läroämne – Subject Metsien ekologia ja käyttö	
Työn ohjaaja(t) – Arbetets handledare – Supervisor Professori Kari Heliövaara ja yliopistonlehtori Risto Kasanen	Vuosi – År – Year 2017
Tiivistelmä – Abstrakt – Abstract <p>Tutkielmassa tarkasteltiin joulukuusiviljelmän ominaisuuksia ja viljelytoimenpiteitä sekä niiden vaikutusta kasvatettavien puiden tuhoalttiuteen. Tutkielmassa keskityttiin tarkastelemaan metsäkuusta (<i>Picea abies</i>) ja tavoitteena oli selvittää, esiintyykö tutkittavalla joulukuusiviljelmällä jokin tuhonaiheuttaja muita runsaammin aiheuttaen selkeän haitan joulukuusenkasvatukselle. Lisäksi tutkittiin, vaikuttaako joulukuusilla viljeltävää peltoa ympäröivän metsän ja avoimen maaston vaihtelu tuhojen esiintymiseen pellolla. Tarkastelussa pyrittiin myös selvittämään monokulttuurin ja seka-puuston mahdollisia vaikutuksia tuhoriskiä. Aikaisemmin ei ole tehty kattavaa selvitystä joulukuusiviljelmiä vaivavista tuhonaiheuttajista.</p> <p>Tutkielmaa varten inventoitiin kesän 2016 aikana joulukuusiviljelmään kuuluva pelto Hyvinkäällä. Pelto inventoitiin viidesti kesän aikana, jolloin pystyttiin seuraamaan tuhonaiheuttajien dynamiikkaa kasvukauden aikana. Jokaisella mittauskerralla tarkasteltiin 820 puun otosta. Näin intensiivistä tuhoseurantaa ei metsikkötasolla ole tehty. Jokaisesta puusta määritettiin tuhonaiheuttajat ja arvioitiin latvuksen kunto. Inventointien perusteella luotiin malleja, joilla tarkasteltiin ympäröivän metsän ja avoimen maan vaihtelun sekä maalajin ja taimimateriaalin vaikutusta tuhojen esiintymiseen. Tuhojen aiheuttamien haittojen vakavuutta arvioitiin ristiintaulukoimalla tuhonaiheuttajien frekvenssit latvuksen kunnon suhteen.</p> <p>Kesän aikana esiintyi runsaasti versosurmaa (<i>Gremmeniella abietina</i>). Versosurmaa pidetään hankalana tuhonaiheuttajana joulukuusiviljelmillä. Lisäksi puiden laatuun vaikutti latvuksessa oleva aukko, joka oli syntynyt neljä vuotta aikaisemmin. Tätä tuhonaiheuttajaa ei ollut mahdollista jälkikäteen selvittää. Kolmas mittauskerta sijoittui kuusensuopursuruosteen (<i>Chrysomyxa ledi</i>) itiöintiaikaan, jolloin sienien itiöemät olivat selvästi näkyvissä. Kuusensuopursuruosteen merkit kuitenkin olivat seuraavaan mittauskertaan mennessä pudonneet pois, eikä se aiheuttanut näkyvää haittaa myöhemmin.</p> <p>Hyönteismyrkyn levitys yhdistettynä joulukuusille vuosittain tehtäviin typistykseen poisti hyönteisten aiheuttamat tuhot tutkimuskohteelta. Typistettäessä leikataan kuusen tuoreimpia vuosikasvaimia, joissa myös iso osa tuhoista on. Joulukuusien kannalta haitallisimmat hyönteiset iskevät juuri uusiin kasvaimiin. Monokulttuurilla ei myöskään näytä olevan joulukuusenkasvatuksen kannalta merkitystä tuhoalttiudelle runsaista hoitotoimenpiteistä johtuen.</p>	
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Tuhohyönteinen, sienitauti, monokulttuuri	
Säilytyspaikka – Förvaringsställe – Where deposited Helsingin yliopiston kirjasto – Helda / E-thesis (opinnäytteet) ethesis.helsinki.fi	

SISÄLLYSLUETTELO

KÄSITTEET.....	3
1 JOHDANTO.....	4
1.1 Joulukuusten viljely Suomessa	4
1.1.1 Joulukuuset Suomessa	4
1.1.2 Joulukuusikaupan arvo.....	5
1.1.3 Joulukuusten viljely	6
1.2 Joulukuuset, monokulttuuri ja tuhot.....	8
1.2.1 Monokulttuuri.....	8
1.2.2 Tuhoriski ja toimenpiteiden vaikutus.....	8
1.2.3 Tuhojen merkitys joulukuusenviljelyssä	10
1.3 Tavoitteet	11
2 AINEISTO JA MENETELMÄT.....	12
2.1 Aineiston hankinta ja taustatiedot	12
2.1.1 Taustatiedot.....	12
2.1.2 Aineiston hankinta	14
2.2 Aineiston analysointi	16
3 TULOKSET	20
4 TULOSTEN TARKASTELU	22
4.1 Tuhojen esiintyminen Suomessa ja viljelmällä.....	22
4.2 Joulukuusen kasvatus ja kuusen kasvuun vaikuttavia tekijöitä.....	24
4.3 Hyönteiset joulukuusiviljelmällä	25
4.4 Tuhonaiheuttajasienet joulukuusiviljelmällä	26
4.5 Lisääkö monokulttuuri tuhoalttiutta?	27
4.6 Menetelmistä.....	29
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	30
6 KIITOKSET.....	31
7 KIRJALLISUUS.....	32
LIITE 1: MITTAUSLOMAKE.....	36
LIITE 2: TAULUKOITA	37
Liite 2.1 Latvuksen kunnon mukaan ehdolliset todennäköisyydet tuhonaiheuttajalle.....	37
Liite 2.2 Tuhonaiheuttajan sisäiset ehdolliset todennäköisyydet latvuksen kunnolle.....	38
Liite 2.3 Tuhonaiheuttajien osuudet mittauskerran tuhosta	39

KÄSITTEET

Joulukuusi

Tässä tutkimuksessa joulukuusella tarkoitetaan metsäkuusta (*Picea abies* (L.) Karst), joka on kasvatettu joulukuuseksi myyntiä ajatellen.

Joulukuusiviljelmä

Puuviljelmä, jossa kasvatetaan joulukuusia. Voi sijaita pellolla tai metsämaalla. Joulukuusiviljelmällä on usein plantaasiviljelyn piirteitä, kuten monokulttuuri sekä lyhyt kiertoaika.

Kasvuennuste

Kasvuennusteella tässä tutkielmassa tarkoitetaan arviota siitä, tuleeko tarkasteltavasta puusta myyntikelpoinen joulukuusi seuraavan kahden vuoden aikana. Kahden vuoden kuluttua inventoinneista viljelijällä on tarkoituksena uudistaa koko pelto ja poistaa sieltä myös myyntiin kelpaamattomat puut.

Monokulttuuri

Monokulttuurilla tarkoitetaan viljelystä, jossa on vain yksi viljeltävä laji. Monokulttuuri-käsite ei ota huomioon kenttäkerroksen eikä pohjakerroksen lajistoa.

Paljasjuuritaimi

Istutettava taimi, jonka juuret ovat paljaana (vrt. pottitaimi).

Pottitaimi

Istutettava taimi, jonka juurten suojana on turvepaakku, jossa taimi on kasvanut taimiviljelmällä.

Terminen kasvukausi

Terminen kasvukausi alkaa, kun lumi on sulanut aukeilta paikoilta ja vuorokauden keskilämpötila nousee pysyvästi yli +5 asteen. Koska keväällä vuorokauden keskilämpötila voi vaihdella pitkään +5 asteen molemmin puolin, tilannetta seurataan 10 vuorokauden ajan. Syksyllä terminen kasvukausi päättyy, kun vuorokauden keskilämpötila laskee pysyvästi +5 asteen alapuolelle tai saadaan pysyvä lumipeite. Syksyllä myös kovat yöpakkaset useana yönä peräkkäin katkaisevat kasvukauden (Kersalo ja Pirinen 2009).

Tuho

Tässä tutkimuksessa tuholla tarkoitetaan sellaista sienen, hyönteisen tai muun tekijän aiheuttamaa vikaa puussa, joka estää puun myymisen joulukuuseksi tai merkittävästi alentaa sen arvoa joulukuusena.

Tuhonaiheuttaja

Sieni- tai hyönteislaji, joka aiheuttaa haittaa joulukuusenkasvatukselle.

1 JOHDANTO

1.1 Joulukuusten viljely Suomessa

1.1.1 Joulukuuset Suomessa

Joulukuusi vakiinnutti asemansa suomalaisissa kodeissa laajemmin vasta 1920-luvulla. Tätä aiemmin lähinnä ylemmät yhteiskuntaluokat juhlistivat joulua joulukuusella. Joulukuusen käyttö joulukoristeena levisi maaseudulle kansakoululaitoksen järjestämien kuusijuhlien ansiosta (Päivänen 1993). Vaikka 1900-luvun alussa joulukuusi oli vielä harvinaisuus kotitalouksissa, erityisesti Tanskassa niitä oli viljelty jo 1800-luvun loppupuolella (Mikola 1983).

Joulukuusen viljely rantautui Suomeen vuonna 1913 Emil Vesterisen kirjoitettua metsätaloudelliseen aikakauskirjaan joulukuusiviljelmien perustamisesta suurten kaupunkien läheisyyteen, ettei joulukuusten haku metsistä häiritsisi metsätaloutta. Siihen asti joulukuusi oli haettu perinteisesti omista tai naapurin metsistä ja tämä perinne on pysynyt etenkin maaseudulla nykyaikoihin asti. Ensimmäiset laajemmat joulukuusiviljelmät perustettiin kuitenkin vasta 1960-luvulla, ja ala kasvaa edelleen (Tyystjärvi 1973, Johansson 1997). Nykyään kotimaisen joulukuusikaupan vuosittainen bruttoarvo on noin 32 miljoonaa euroa (Suomen joulupuutuotanto 2016).

Joulukuusia kasvatetaan erityisesti torimyyntiin ja toimitettavaksi, joskin kuusten myynti asiakkaille suoraan viljelmiltä on ollut jo pitkään kasvussa (Johansson 1997, Pirttilä ym. 2007), ja se on sittemmin vakiinnuttanut asemansa joulukuusten myyntitapana. Suomessa ja maailmalla viljellään useita lajeja, mutta tämä tutkimus keskittyy Suomessa yleisimmän joulukuusilajin, metsäkuusen (*Picea abies*) tarkasteluun. Vuosittain suomessa myydään noin 1,5 miljoonaa joulukuusta, joista yli miljoona on kotimaisia viljeltyjä kuusia. Noin 150 000 viljeltyä kuusta tuodaan ulkomailta ja loput noin 300 000 kaadetaan yksityisistä metsistä (Suomen joulupuutuotanto 2016).

Yksittäisen joulukuusen lopullisen hinnan määrää myyntipaikka ja -tapa, puun koko sekä ulkonäkö. Vuonna 2014 kaksimetrisen joulukuusen tukkuhinta oli noin 20 euroa, ja torilla myytyinä siitä sai keskimäärin hieman alle 50 euroa. Tarpeeksi suurella viljelmällä yksittäisen puun kasvatuskustannukset jäävät alle 10 euroon. Talousmetsissä

yksittäisen puun hoitokustannukset ovat huomattavasti pienemmät, kun molemmissa tapauksissa jätetään huomioimatta maan arvo.

Viljelmillä esiintyvät sienitaudit, tuhohyönteiset sekä muut tuhoja aiheuttavat tekijät vaikuttavat monin tavoin kuusten kasvuun sekä ulkonäköön. Tuhot hidastavat kuusen myyntikelpoiseksi kasvattamista, laskevat puun laatua joulukuusena tai pahimmassa tapauksessa tekevät puusta myyntikelvottoman. Tuhojen aiheuttajista ja niihin vaikuttavista tekijöistä on tehty tutkimuksia, mutta kattavasti aihetta ei ole käsitelty joulukuusiviljelmien näkökulmasta. Aihetta käsitellään Liljan ym. (2013) artikkelissa, mutta siinä mainitaan haittana lähinnä *Phytophthora*-suvun mikrobilajeja.

1.1.2 Joulukuusikaupan arvo

Maailmanlaajuisesti joulukuuset ovat laajamittaista liiketoimintaa. Vuonna 2000 arvioitiin, että vuosittain tuotetaan 83–96 miljoonaa joulukuusta Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Tuolloin Yhdysvaltojen joulukuusikaupan bruttoarvoksi arvioitiin 1,5 miljardia Yhdysvaltain dollaria, joka nykyrahassa on noin 1,8 miljoonaa euroa (Chastanger ja Benson 2000). Suomessa vuoden 1995 jälkeen kuusikaupan bruttoarvo on kasvanut nykyrahassa mitattuna reilusta 2,3 miljoonasta eurosta yli 33 miljoonaan euroon (Hytönen 1995, Suomen joulupuutuotanto 2016). Suurena erona Suomen ja Pohjois-Amerikan välillä on viljelijöiden määrä. Suomessa viljelijöiden määrä lasketaan edelleen sadoissa, kun Yhdysvalloissa oli jo vuonna 2000 yli 15 000 rekisteröitynyttä joulukuusten viljelijää (Chastanger ja Benson 2000).

Jos kuusikaupan arvon kehitys on Pohjois-Amerikassa ollut yhtä voimakasta kuin Suomessa, puhutaan siellä jo useista miljardeista dollareista. Toisaalta Suomessa myös joulukuusten hinta myytynä on noussut tukkuhintana noin 10 eurosta (40 FIM vuonna 1995) kaksinkertaiseksi ja torihintana viisinkertaiseksi (Hytönen 1995). Tämä tarkoittaisi kuusten myynnin kolminkertaistumista viimeisen 20 vuoden aikana Suomessa. Jos kasvu olisi vastaavaa maailmanlaajuisesti, olisi vuosittain tuotettavien joulukuusten määrä yli 200 miljoonaa.

1.1.3 Joulukuusten viljely

Metsänjalostussäätiö perusti Lopelle ja Vihtiin 1960-luvulla Suomen ensimmäiset laajemman mittakaavan joulupuuviljemät. Näillä viljelmillä kasvatettiin serbiankuusta (*Picea omorika* (Pancic)). Viljelmien yhteenlaskettu koko oli noin 10 hehtaaria ja taimia istutettiin alueille noin 70 000 kappaletta. Viljelmistä osa perustettiin pelloille ja osa metsään. Istutustiheytenä oli noin 7000 tainta hehtaarilla (taimiväli 1,2 metriä), vaikka jo silloisten tanskalaisten kokemusten perusteella sopiva istutustiheys olisi ollut noin 5000 tainta hehtaarilla (taimiväli 1,4 metriä) (Tyystjärvi 1973). Suositukset joulupuiden istutustiheyksille eivät juuri ole muuttuneet. Toisaalta koneellisen heinä- ja vesakontorjunnan myötä suositeltua taimiväliä on kasvatettu noin 1,5–1,6 metriin, jotta mönkijä tai muu leikkuri mahtuisi hyvin taimien välistä (Johansson 1997). Istutusvälin ollessa 1,6 metriä, saadaan noin 4000 tainta hehtaarille.

Joulukuuset pyritään kasvattamaan tuuheiksi ja muodoltaan kauniiksi, joten niitä on typistettävä eli leikattava kasvatuksen aikana. Metsäkuusen (*Picea abies*) typistysohjeistus voidaan yleistää muille *Picea*-suvun lajeille, mutta pihdoille (*Abies* sp.) ja muille kasvatettaville suvuille, kuten männyille (*Pinus* sp.) tai douglaskuusille (*Pseudotsuga* sp.), on omat typistysohjeet (Johansson 1997). Tässä tutkimuksessa ei käsitellä muita lajeja metsäkuusen ohella tämän enempää.

Typistäminen aloitetaan kuusten ollessa noin 1,5 metrin mittaisia. Kuusen pituuskasvu kiihtyy huomattavasti puun saavutettua 1,5 metrin pituuden, ja kasvun kiihtyminen johtaa oksavälin harvenemiseen. Harvaoksainen kuusi ei ole tuuhean näköinen, joten pituuskasvua täytyy rajoittaa. Pituuskasvua rajoitetaan leikkaamalla latvakasvaimesta 30–40 senttimetrin ylittävä osa pois kasvaimen kasvettua lähes täyteen mittaansa. Kuusi allokoii voimakkaimman kasvunsa latvakasvaimen kärjessä oleviin silmuihin. Kun ne typistetään pois, saadaan puu allokoimaan kasvunsa muihin oksiin. Myös sivuoksia leikataan, jotta kuusi säilyttää kauniin kartiomaisen profiilin. Mahdollisimman pienen leikkausjäljen saamiseksi suositellaan leikattavaksi mahdollisimman nuoria kasvaimia. Suuret tai myöhään syksyllä tehdyt leikkausjäljet näkyvät myytävässä kuusessa selkeämmin ja saattavat vuotaa pihkaa sisälle vietäessä. Kerran aloitettuja leikkauksia on jatkettava vuosittain, jotta puu säilyttäisi muotonsa mahdollisimman hyvin (Tyystjärvi 1973, Johansson 1997). Kuusten typistyksellä voidaan myös tasapainottaa juurten ja oksien välistä suhdetta, joka saattaa runsaan lannoituksen takia vääristyä oksapainotteiseksi (Pirttilä ym. 2007).

Viljelyn onnistumiseksi joulukuusten oleellisiin hoitotöihin kuuluu typistämisen ohella myös heinäntorjunta ja lannoitus. Heinäntorjunnalla pyritään vähentämään heinien ja muiden rikkakasvien kilpailullista vaikutusta joulukuusten kasvuun. Heinät ja rikkakasvit käyttävät samoja ravinteita ja vettä kuin kuuset, mutta myös varjostavat taimia sekä varttuneempien kuusten alimpia oksia. Kilpailua on mahdollista rajoittaa kemiallisella sekä mekaanisella heinän- ja rikkakasvientorjunnalla. Mekaanisella torjunnalla tarkoitetaan raivaussahan hakkuriterällä tai siimaleikkurilla tehtävää rikkakasvien poistoa ja kemiallisella taas erilaisten kasvintorjunta-aineiden, kuten glyfosaa-
tin, levittämistä viljelmälle kasvatettavien puiden ympärille. Heinän- ja rikkakasvien torjunnassa on oltava tarkkana, ettei kasvatettaviin kuusiin tule vaurioita (Tyystjärvi 1973, Johansson 1997). Heinäntorjunta on tärkeää, sillä hintaero hyvälaatuisen ja keskinkertaisen kuusen välillä voi olla moninkertainen. Erään pihdoilla tehdyn tutkimuksen mukaan muovikate olisi tehokkain heiniä torjuva keino. Toisaalta mekaaninen tai kemiallinen heinäntorjunta on huomattavasti muovikatetta kustannustehokkaampaa ja siksi kannattavampaa (Sæbø ym. 2009).

Joulukuuset kärsivät usein erilaisista ravinnepuutoksista, erityisesti pelloille istutettuna. Puutokset näkyvät puissa monilatvaisuutena, kasvuhäiriönä tai neulasten värimuutoksena. Yleisesti käytetyt lannoitteet sisältävät fosforia ja kaliumia, toisinaan myös typpeä. Runsasmultaisilla tai -turpeisilla mailla myös boorin-, kuparin- ja sinkinpuute on yleistä, ja niillä tulisi käyttää lannoitteita, jotka sisältävät edellä mainittuja aineita. Boorinpuutos aiheuttaa selkeitä värimuutoksia neulasissa sekä kärkisilmujen kuolemia. Kärkisilmun kuolema johtaa latvanvaihtoon (Lehto ym. 2010), jota joulukuusenkasvatuksessa pyritään välttämään, sillä mutkainen runko laskee puun arvoa. Lannoitus vaikuttaa puiden kasvun lisäksi rikkakasvien kasvuun, joten heinäntorjuntaa on syytä tehostaa lannoittamisen yhteydessä (Johansson 1997).

Kuusikaupan kasvuun on varmasti vaikuttanut kasvava tiedon määrä. Kun tiedetään kasvatettavasta puusta enemmän, voidaan viljelyohjeita tarkentaa. Tällöin kynnyks aloittaa viljely tai kasvattaa viljelyksen kokoa laskee. Joulukuusenviljelyn toimenpiteitä voidaankin perustella kuusen biologisilla ominaisuuksilla.

1.2 Joulukuuset, monokulttuuri ja tuhot

1.2.1 Monokulttuuri

Monokulttuurilla tarkoitetaan viljelyä, jossa kasvatetaan vain yhtä lajia. Erityisesti pelolle istutetut joulukuusiviljelmät ovat lähes puhtaita monokulttuureja. Monokulttuuri yhdistettynä lyhyeen kiertoaikaan ja hoito- sekä korjuutoimenpiteitä edistävään istutustapaan saa joulukuusiviljelmät muistuttamaan plantaasiviljelyä.

Monokulttuureissa esiintyy enemmän tuholaisia kuin sekapuustossa (Vehviläinen ym. 2006, Guyot ym. 2015). Tuholaisten lajidiversiteetin on todettu olevan suurimmillaan puhtaissa kuusikoissa sekä hyönteisten (Vehviläinen ym. 2006) että sienten (Müller ja Hallaksela 1998) kohdalla. Toisaalta, jos lasketaan mukaan haittaa aiheuttamattomat selkärangattomat, lajien kokonaismäärä vähenee kuusen osuuden kasvaessa koko puustossa yli 40 prosentin (Salingre ja Heliövaara 2001). Alueella esiintyvien haitallisten lajien lukumäärän kasvaessa myös tuhojen määrä näyttäisi kasvavan (Vehviläinen ym. 2006).

Kun puulajidiversiteetti kasvaa, myös hyönteisten luonnollisten vihollisten sekä loisten määrä kasvaa (Guyot ym. 2015). Luonnolliset viholliset rajoittavat tuhohyönteisten määrää (Wingfield ym. 2008). Toisaalta, vaikka lajispesifien tuholaisten määrä laskeekin puulajien lukumäärän kasvaessa, on mahdollista, että generalistien tuhohyönteisten määrä saattaa jopa lisääntyä (Guyot ym. 2015). Erään viljoilla tehdyn tutkimuksen mukaan (Bommarco ja Banks 2003) viljelmän koko ja pirstaleisuus muuttaa lajidiversiteetin vaikutusta. Bommarcon ja Banksin (2003) mukaan pienemmillä ja pirstaleisemmilla viljelmillä lajidiversiteetin vaikutus on suurempi, sillä tällöin herbivorin on helpompi vaihtaa aluetta itselleen sopivammaksi, erityisesti erilaisten viljelmien ollessa lähekkäin. Joulukuusiviljelmillä viljelmän eri-ikäiset osat ovat usein erillään toisistaan ja välissä saattaa olla metsää tai muunlaista maastoa.

1.2.2 Tuhoriski ja toimenpiteiden vaikutus

Vaikka tuhoja on monokulttuureissa runsaasti, ne eivät jakaudu tasaisesti. On havaittu, että viljelmien reunoilla on enemmän tuhoja kuin keskiosissa. Tämä johtuu siitä, että tuhonaiheuttajat leviävät ympäröiviltä alueilta ja iskevät ensimmäisenä vastaan tuleviin sopivan lajin yksilöihin (Dulaurent ym. 2012, Kautz ym. 2013, Regolini ym. 2014).

Tätä tietoa hyödyntäen voisi kuusiviljelmille saada lisäsuojaa istuttamalla reunoille puskurivyöhykkeen toisella lajilla, kuten rauduskoivulla (*Betula pendula* Roth). Lehtipuuna koivu olisi myös systemaattisen etäisyytensä takia perusteltu vaihtoehto.

Kuusiviljelmää perustettaessa on tarkasteltava myös taimiaineksen vaikutusta tuhojen esiintymiseen. Taimienvalinnassa on otettava huomioon taimen alkuperä. Liian kaukaa itä-länsi- tai etelä-pohjoissuunnasta tuodut taimet eivät välttämättä pärjää paikallisilmaston olosuhteissa. Joulukuusille ja leikkohavuille on olemassa myös oma vyöhykekartta (Solantie 1988), joka eroaa hieman metsäpuiden kasvatuksessa käytettävän taimimateriaalin vyöhykekartoista. Pitkän matkan päästä tuotava taimimateriaali saattaa myös tuoda mukanaan tuholaisia, joita ei istutettavalla alalla luonnostaan ole (Poteri 1999). Paakkutaimen paakkujen pinnalla saattaa siirtyä myös sellaisia lajeja, jotka eivät muuten siirtyisi niin pitkiä matkoja (Poteri 1999). Riski vieraille taudeille kasvaa alkuperän etäisyyden kasvaessa (Wingfield ym. 2008). Vastustuskykyisen taimikannan on havaittu pienentävän huomattavasti tuhoriskiä (Wingfield ym. 2008). Suomessa taimitarhojen taimet eivät ole toistensa klooneja, joten vastustuskyvyssä on runsaasti yksilöllistä vaihtelua.

Monokulttuurin lisäksi joulukuusten viljelyn muita erityispiirteitä tavalliseen metsänhoitoon verrattuna ovat vielä tiheä viljely, runsas lannoitus, toistuvat typistykset sekä lyhyt kiertoaika. Istutus- tai kasvatustiheyden ei ole havaittu vaikuttavan tuhoriskiin (Archambault ym. 1993, Regolini ym. 2014). Lannoituksen vaikutuksista sen sijaan on ristiriitaista tietoa. On havaittu, ettei runsaskaan lannoitus vaikuta kuusen vastustuskykyyn kaarnakuoriaisia vastaan (Kytö ym. 1996), mutta erilaisia sienitauteja sekä hyönteisten esiintymistä runsaan fosforilannoituksen on todettu jopa lisäävän kuusissa (Flückiger ja Braun 1999). Toisaalta esimerkiksi ammonium-sulfaattilannoituksella on saatu sienitauteja ehkäiseviä vaikutuksia, kun sopiva vedensaanti on taattu (Lehtijärvi ja Barklund 1999).

Talousmetsissä säännöllisillä hoitotoimenpiteillä voidaan ehkäistä tuhoja hoitamattomiin metsiin verrattuna. Ehkäisevä vaikutus perustuu säännölliseen seurantaan sekä kuolleiden ja tuholaisia sekä tauteja levittävien puuyksilöiden poistoon keskimäärin kahdessa harvennuksessa ennen päätehakkuuta (Veteli ym. 2006). Vaikka joulukuus-

ten viljelyssä ei kiertoajan lyhyiden vuoksi tule harvennushakkuita kuten metsänhoidossa, puiden tilaa seurataan säännöllisesti esimerkiksi typistysten yhteydessä. Tällöin tuhot havaitaan jo alkuvaiheessa ja niihin voidaan mahdollisuuksien mukaan reagoida.

Typistuksen vaikutus tuhoalttiuteen on varsin pieni. Sopivaan aikaan tehdyn typistuksen jälki paranee jopa viikossa eikä näin ehdi altistamaan sienitaudeille. Myöhään syksyllä typistysjäljet arpeutuvat hitaammin ja saattavat altistaa puut silloin ilmassa olevien sienten itiöille (Tyystjärvi 1973). Toisaalta myös sienten itiöimisajat vaihtelevat ja vain osa sienistä aiheuttaa tällöin riskin.

1.2.3 Tuhojen merkitys joulukuusenviljelyssä

Joulukuusenviljelyssä tuhot ja tuholaiset ovat merkittävämpi haitta kuin perinteisessä metsätaloudessa. Puun kasvattamiseen käytetään enemmän resursseja, ja mikäli tuhot tekevät puusta myyntikelvottoman, on menetys viljelijälle suurempi. Toisaalta myös seuranta on aktiivisempaa. Tällöin voidaan tuhoihin mahdollisuuksien mukaan vaikuttaa tai tehdä ratkaisuja tuhojen leviämisen estämiseksi esimerkiksi istuttamalla kituvan tai kuolleen puun tilalle uusi.

Talousmetsissä myös puiden toipumiselle on aikaa enemmän kuin joulukuusenkasvatuksessa. Talousmetsissä toimenpiteiden väli voi olla kymmeniä vuosia, ja oireet saattavat parantua tuossa ajassa. Joulukuusenkasvatuksessa kiertoaika on usein vain kymmenisen vuotta, ja kuolleet puut lähinnä jätetään korjaamatta. Viljelys istutetaan lopulta kerralla kokonaan uudestaan. Toisaalta, jos puun annetaan toipua väliaikaisesta tuhosta, kuten neulasten värjäytymisestä, on puu mahdollista myöhemmin myydä isompana ja kalliimpana.

1.3 Tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, aiheuttaako jokin tuhosieni- tai hyönteislaji muita lajeja merkittävämpää haittaa joulukuusiviljelmällä. Lisäksi tutkimuksella pyritään selvittämään, miten metsän ja avoimen ympäristön vaihtelu vaikuttaa tuhojen sijaintiin viljelmällä. Tutkimuksen lisätavoitteena on tarkastella, miten monokulttuuri vaikuttaa tuhojen esiintymiseen. Tavoitteen selkeyttämiseksi muodostetaan seuraavat hypoteesit:

1. Jokin tai jotkin tuhosieni- tai hyönteislaji(t) esiintyvät runsaammin ja aiheuttavat selkeän ongelman joulukuusenviljelylle.
2. Ympäröivän metsän ja avoimen maan vaihtelulla on merkitystä lajien esiintymiselle.
3. Ympäröivän metsän vaikutus on erilainen sienten ja hyönteisten esiintymiselle.

Muodostetaan myös 0-hypoteesi

0. Pellolta löytyy useita tuhosieni- ja hyönteislajeja, joista yksikään ei esiinny muita selvästi runsaammin aiheuttaen vakavampaa haittaa joulukuusenkasvatukselle.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Aineiston hankinta ja taustatiedot

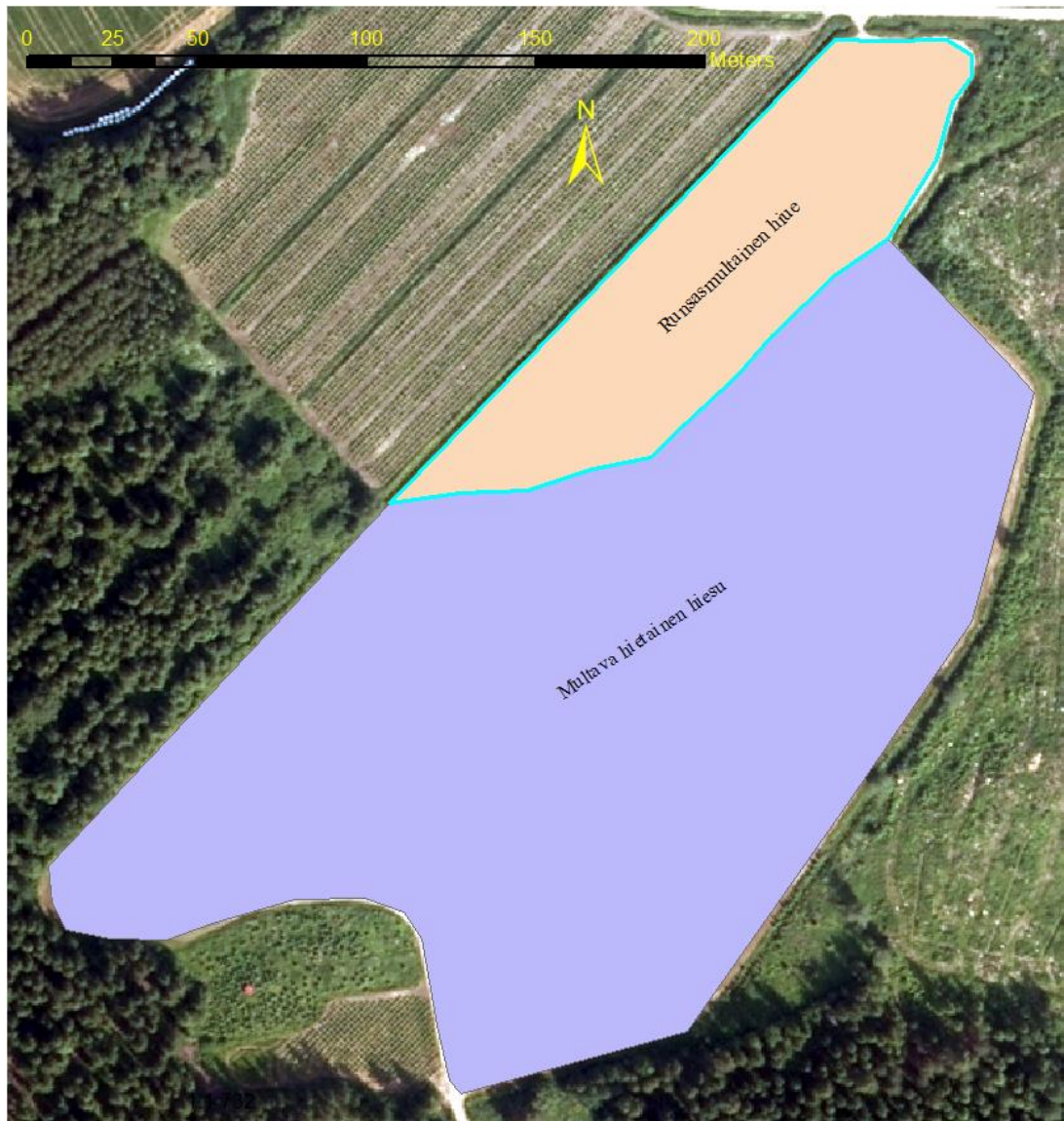
2.1.1 Taustatiedot

Aineisto kerättiin kesän 2016 aikana maastomittauksilla. Tutkimuskohde on Hyvinkään Ridasjärvellä sijaitsevaan joulukuusi- ja leikkohavuviljelmään kuuluva 4,3 hehtaarin kokoinen pelto. Pellolle on ajourin rajattu kymmenen istutussarkaa, joiden koko vaihtelee 0,061 hehtaarin ja 0,499 hehtaarin välillä kuvan 1 mukaisesti. Sarkojen yhteenlaskettu pinta-ala on 3,4 hehtaaria. Tutkimusta varten sarat numeroitiin yhdestä kymmeneen alkaen luoteisimmasta 0,492 ha sarasta.



Kuva 1: Tutkimuskohteen kartta, johon on merkitty sarkojen pinta-alat hehtaareissa.

Pelto jakautuu istutussarkojen lisäksi kahteen eri maalajialueeseen kuvan 2 mukaisesti. Pellon pohjoiskulmassa on 0,83 hehtaarin kokoinen alue runsasmultaista hiuetta ja muu pelto on maalajiltaan multava hietainen hiesu.



Kuva 2: Tutkimuskohteena olevan pellon maalajien sijoittuminen.

Pellolle on vuonna 2010 istutettu noin 18 000 joulukuusta. Puut olivat inventointikesänä kuuden vuoden ikäisiä eli karkeasti vielä taimikonhoitovaiheen puita. Kuuset on istutettu 1,4 metrin etäisyydelle toisistaan, jotta niiden välistä mahtuu ajamaan mönkijällä, johon on asennettu ruiskut kemiallista heinätorjuntaa varten.

Istutetuista taimista 10 000 on paljasjuuritaimia yksityiseltä taimikasvattajalta, ja ne on istutettu neljään luoteisimpaan sarkaan (sarat 1–4). Loput 8000 tainta ovat Fin Forrelian kaksivuotiaita pottitaimia, ja ne on istutettu kuuteen kaakkoisimpaan sarkaan

(sarat 5–10). Paljasjuuritaimet ovat olleet istutuksen aikaan keskimäärin 35 cm pituisia ja pottitaimet 23 cm pituisia. Tutkimuksen kannalta oletettiin, ettei taimimateriaalilla olisi ratkaisevaa vaikutusta tuhoalttiuteen, sillä puut eivät ole geneettisesti toistensa kloonieja. Tällöin tuhonkestävyyden yksilöllinen vaihtelu on suurta. Lisäksi hoitotoimenpiteet ovat olleet vastaavia kaikille pellon puille.

2.1.2 Aineiston hankinta

Aineistoa varten tehtävät maastomittaukset suoritettiin viidesti kasvukauden 2016 aikana, jotta tutkimuksessa voitiin seurata tuhojen esiintymistä ja muutosta kasvukauden aikana. Terminen kasvukausi Hyvinkäällä alkaa huhtikuun 28. ja toukokuun 1. päivän välillä ja päättyy lokakuun 15. ja 20. päivän välillä (Kersalo ja Pirinen 2009). Ensimmäiset mittaukset suoritettiin hieman ennen kasvukauden alkua ja viidennet niin, että kasvukausi oli loppunut. Muut mittauskerrat sijoituivat taulukon 1 mukaisesti. Kasvukauden pituus tutkimuskohteella oli noin 25 viikkoa, joten mittaukset tehtiin noin viiden viikon välein, poikkeuksena viides mittausta. Neljännen ja viidennen mittauksen väli oli pidempi, jotta kasvukausi olisi ehtinyt varmasti loppua.

Kolmannen mittauskerran jälkeen viljelmän omistaja leikkautti puut ja levitti hyönteismyrkkyä. Muotoleikkauksessa puiden latvakasvain lyhennettiin noin 40 senttimetrin pituiseksi ja sivuoksista kaikki symmetrisen kartion ulkopuolelle kasvaneet kasvaimet lyhennettiin. Viljelijän käyttämä hyönteismyrkky oli dimetooattia. Lähes kaikki hyönteiset katosivat pellolta hyönteismyrkyn levityksen seurauksena.

Taulukko 1: Mittauskertojen ajankohdat.

Mittauskerta	Päivämäärät
1	23.–24.4.2016
2	25.–26.5.2016
3	9.–10.7.2016
4	20.–21.8.2016
5	22.–23.10.2016

Mittaukset tehtiin systemaattisella otannalla. Pellolta mitattiin yhdellä mittauskerralla 41 koealaa kahden päivän aikana. Jokaisessa koealassa oli 20 puuta eli otoksen n oli

820. Koealojen määrä kullakin saralla oli määritelty saran pinta-alaosuuden mukaan. Koealat sijoitettiin sarkoihin tasaisin välein taulukon 2 mukaisesti.

Taulukko 2: Koealojen sijoittelu. Koealaväli määräytyy saran pituuden mukaan. Ensimmäinen koeala otettiin puolen koealavälin päästä lähtöpisteestä saran koillispäädystä.

Sarka ID	Pinta-ala (ha)	Pituus (m)	Osuus kokonaispinta-alasta	Koealoja	Koealaväli (m)	Koealaväli (rivejä, pyöristetty)	Ensimmäisen koealan sijainti (rivejä, pyöristetty)
1	0.4917	352	14 %	6	58.7	41	21
2	0.4991	352	15 %	6	58.7	41	21
3	0.4433	329	13 %	5	65.8	47	24
4	0.3496	252	10 %	4	63.0	45	23
5	0.331	240	10 %	4	60.0	42	21
6	0.3323	241	10 %	4	60.3	43	22
7	0.3493	246	10 %	4	61.5	43	22
8	0.3257	241	9 %	4	60.3	43	22
9	0.2461	200	7 %	3	66.7	47	24
10	0.061	80	2 %	1	80.0	57	29
Yhteensä:	3.4291			41			

Koealalta mitattiin puita rivi kerrallaan, kunnes 20 puuta täyttyi. Riviin on istutettu kymmenen puuta pois lukien sarkojen vinot päädyt, joissa rivit olivat ajourista johtuen vajaita. Vuoden 2015 joulukuusimarkkinoille oli sieltä täältä kaadettu puita. Kulku-suuntana sijainnin laskemiselle pidettiin koillis-lounais-suuntaa.

Jokaisesta koealan puusta kirjattiin seuraavat tunnuksat: pituus, latvuksen kunto, tuholaislajin määrittäminen (tai oireiden kuvaus) sekä arvio siitä, tuleeko puusta joulukuusi seuraavan kahden vuoden aikana (kasvuennuste). Latvuksen kunto sekä kasvuennuste arvioitiin silmämääräisesti ja kirjattiin kolmiluokkaisena muuttujana mittalomakkeelle taulukon 3 mukaisesti. Latvuksen kunnon ja puun kasvuennusteen määrittäminen perustui joulukuusikaupassa kerättyyn käytännön kokemukseen. Lisäksi puun sijainti kirjattiin ylös merkitsemällä puun järjestysnumero koealalla, koealan numero sekä saran numero. Jokaisesta oireityypistä otettiin valokuva ja epäselvistä tapauksista myös näyte myöhempää, kirjallisuuden avulla tehtävää tunnistusta varten.

Taulukko 3: Selitykset latvuksen kunnon sekä kasvuennusteen luokkajaottelulle.

Luokka	Latvuksen kunto	Kasvuennuste
1	Hyvä, mahdollisesti yksittäisiä oireita	Tulee joulukuusi seuraavan kahden vuoden aikana
2	Selkeitä oireita, vaikuttaa puun ilmiäsuun (esimerkiksi kokonainen oksa oireilee)	Puusta saadaan sopivasti leikkaamalla joulukuusi seuraavan kahden vuoden aikana
3	Pahoja vaurioita, vaikuttaa puun ilmiäsuun sekä kasvuun	Puusta ei tule joulukuusta

Mittauksessa välineinä käytettiin viiden metrin onkivapaa, johon oli teipattu 30 cm välein merkit puiden pituuksien määrittämistä varten, kirjoituslaskua, tuholaisien oireiden kuvausluetteloa, kameraa sekä näytteenottopurkkeja. Mittaukset kirjattiin mittauslomakkeelle (Liite 1), josta ne tallennettiin tietokoneelle .xlsx ja .txt -tiedostoihin analyysiä varten.

2.2 Aineiston analysointi

Aineisto analysoitiin loppusyksyn ja talven 2016–2017 aikana. Analysoinnissa käytettiin apuna Microsoft Excel 2013 -taulukkolaskentaohjelmaa (versio 15, Microsoft Corporation, Redmond, Washington, Yhdysvallat), R-tilastolaskentaohjelmistoa (R versio 3.3.2 (2016-10-31), R Foundation, Wien, Itävalta) sekä ArcGIS-paikkatieto-ohjelmistoa (versio 10.3.1, Esri, Redlands, California, Yhdysvallat). ArcGIS-ohjelmistolla oli tehty jo tutkimussuunitelman yhteydessä kartat istutussaroista ja maalajista. Aineiston analysoinnin yhteydessä tehtiin lisäksi kartta, johon oli merkitty metsänreuna. Tämän kartan avulla voitiin määrittää koealojen etäisyys metsänreunasta.

Kun aineisto oli tallennettu Excel-tiedostoon, jokainen kirjattu oire tunnistettiin valokuvien ja kirjallisuuden (Kasanen 2009, Uotila ym. 2015) avulla. Apuna käytettiin myös Luonnonvarakeskuksen tuhonaiheuttajaluetteloa (MetINFO-Tuhonaiheuttajaluettelo 2013). Jokaiselle tunnistetulle tuhonaiheuttajalle annettiin myös yksilöivä koodi (Taulukko 4) R-ohjelmointia varten.

Koealojen sijainti suhteessa maalajiin ja metsänreunaan määritettiin ArcGIS-ohjelmiston avulla. Metsänreunan raja-arvoiksi valittiin 25 metriä sekä 50 metriä, sillä metsänreunan puut olivat keskimäärin noin 25 metrin pituisia. Tällöin metsänreunan vaikutusta voitiin tarkistella puun pituuden ja kaksinkertaisen puun pituuden etäisyydeltä.

Taulukko 4: Käytettyjen tuhonaiheuttajien koodien selitykset.

Koodi	Oire
1	Aukko latvuksessa, latva kuollut tuhon seurauksena 4 vuotta aikaisemmin
2	<i>Sacchiphantes abietis</i> L. (iso havukirva)
3	<i>Lirula macrospora</i> (R.Hartig) Darker (kuusen juovakariste)
4	Keväthalla, <i>Sirococcus conigenus</i> (DC) P.F. Cannon & Minter tai <i>Thekopsora areolata</i> (Fr.) P. Magnus (kuusentuomiruoste)
5	Halla
6	Halla tai <i>Thekopsora areolata</i> (kuusentuomiruoste)
7	<i>Neonectria fuckeliana</i> (C. Booth) Castl. & Rossman (kuusen mustakoro)
8	<i>Thekopsora areolata</i> (kuusentuomiruoste)
9	<i>Gremminiella abietina</i> (Lagerb.) M. Morelet (versosurma)
0	Kitulias kasvu, märissä paikoissa mahdollisuus lahojuuritautilla
a	Kuivuus
b	<i>Sirococcus conigenus</i>
c	Aphididae (kirvoja)
d	<i>Chrysomyxa abietis</i> (Wallr.) Unger (kuusenruoste)
e	Hoidon aiheuttama vioitus
f	Mahdollisesti boorinpuute
g	<i>Lophophacidium hyperboreum</i> Lagerb. (kuusentalvihome)
h	Lintu istunut latvuksesta oksan/oksia poikki
i	ei selvää syytä heikolle kasville
j	<i>Dermaptera</i> sp. (pihtihäntäinen) tai muu haitaton hyönteinen
k	Coccinellidae (leppäkerttuja) -> kirvoja
l	<i>Pineus pineoides</i> Cholodkovsky (kuusenrunkokirva)
m	<i>Chrysomyxa ledi</i> (Alb. & Schw.) de Bary (kuusensuopursuruoste)

R-ohjelmistolla aineisto yhdistettiin ja muokattiin niin, että jokaiselle puulle oli sarakkeina seuraavat tiedot:

- Puun ID
- Puun paikkatiedot (sarka, koeala, puun numero)
- Maalaji, jolla koeala on
- Metsänreunan läheisyys asteikolla 1-kauempana kuin 50 metriä, 2-25–50 metrin etäisyydellä metsänreunasta, 3-lähempänä kuin 25 metriä metsänreunasta
- Mitä taimimateriaalia koealan puut ovat

Lisäksi jokaiselle mittauskerralle määriteltiin erikseen:

- Pituus
- Latvuksen kunto
- Kasvuennuste
- Tuhonaiheuttajien lukumäärä
- Sarake, jossa totuusarvomuuttuja sille, onko puussa tuhoja (latvuksen kunto vähintään 2)
- Sarake, jossa totuusarvomuuttuja sille, onko puussa pahoja tuhoja (latvuksen kunto 3)
- Jokaiselle tuhonaiheuttajalle sarake, jossa totuusarvomuuttuja sille, onko kyseinen tuhonaiheuttaja kyseisessä puussa

Hypoteesia 1 tarkasteltiin laskemalla frekvenssit kullekin tuhonaiheuttajalle eri latvuksen kunnon mukaan ja ristiintaulukoimalla tuhonaiheuttajat latvuksen kunnon suhteen. Ristitaulukkoon laskettiin ehdolliset todennäköisyydet sekä latvuksen kunnon että tuhonaiheuttajan mukaan. Toisin sanoen, jos latvuksen kunto on x , niin millä todennäköisyydellä tuhonaiheuttaja on y . Kuten myös tuhonaiheuttajan ollessa y , millä todennäköisyydellä latvuksen kunto on x .

Tuhoille laskettiin myös odotetut frekvenssit, mikäli tuhot olisivat jakautuneet kaikille lajeille tasaisesti latvuksen kunnon eri luokkiin. Tällä tavoin voitiin tarkastella, mikä tuhonaiheuttaja esiintyy keskimääräistä runsaammin missäkin latvuksen kunnon luokassa. Laskelmat tehtiin jokaiselle mittauskerralle erikseen.

Ristitaulukoista määriteltiin myös jokaisen mittauskerran kokonaisfrekvensseiltään suurimpaan 10 %:iin, 15 %:iin, 20 %:iin ja 25 %:iin kuuluvat tuhonaiheuttajat. Näistä yleisimmistä tarkasteltiin latvuksen kuntoa ja arvioitiin kunkin tuhonaiheuttajan haittavaikutusta. Lopuksi taulukoiden avulla piirrettiin kuvaajat, joissa oli ehdolliset todennäköisyydet latvuksen kunnoille ja tuhonaiheuttajille sekä kokonaisfrekvenssi.

Hypoteesia 2 tarkasteltiin R-ohjelmiston avulla. Kolmatta hypoteesia ei aineiston perusteella voitu tarkastella. Hyönteismyrkyn levityksen ja muotoleikkausten seurauksena hyönteisten aiheuttamia tuhoja ei esiintynyt kuin aivan satunnaisesti aineistossa eikä niitä saatu vertailtua mielekkäästi sienten aiheuttamiin tuhoihin.

Hypoteesin 2 tarkastelua varten R-koodilla luotiin logistisia regressiomalleja puustolle eri muuttujilla. Mallit luotiin MASS-kirjaston `polr`-komennolla, joka saa parametereikseen käytettävän datan, halutut muuttujat (selitettävä muuttuja sekä selittävä(t) muuttuja(t)) sekä totuusarvon sille, palauttaako malli Hessen matriisin, jota tarvitaan myöhemmin mallin tarkastelussa `summary`-komennolla.

Malleilla tarkasteltiin latvuksen kuntoa, sillä tuhot selittivät kasvuennustetta huonosti. Latvuksen kunto ja kasvuennuste eivät korreloineet, koska useille puille oli annettu kasvuennusteen arvoksi 3 (ei tule joulukuusta), vaikka tuhoja ei olisi ollutkaan. Tämä johtui puun pienestä koosta tai harvasta latvuksesta.

Mallien selittävinä muuttujina käytettiin metsänreunaa, taimimateriaalia ja maa-ainesta. Malleja tehtiin jokaiselle mittauskerralle seuraavina yhdistelminä:

- Maalaji ja taimimateriaali
- Metsänreuna ja taimimateriaali
- Metsänreuna
- Maalaji
- Taimimateriaali

Maalajin ja metsänreunan yhteisvaikutusta ei tarkasteltu, sillä yksikään koeala ei sijottunut niiden yhteisvaikutusalueelle. Malleista tulokseksi saatiin vedonlyöntikertoimia satunnaisen puun latvuksen kunto -muuttujan arvon todennäköisyydelle. Maalajin kohdalla perustaso on runsasmultainen hiue, taimimateriaalin kohdalla paljasjuuritaimet ja metsänreuna-muuttujan kohdalla perustaso on, että satunnainen puu on kauempana kuin 50 metriä metsänreunasta. Vedonlyöntikerroin kertoo todennäköisyyksien suhteen sille, että latvuksen kunnon luokka nousee alimmasta kahteen parempaan tai kahdesta alimmasta parhaimpaan, kun mallin muuttujien arvo kasvaa yhdellä. Taimimateriaalin ja maalajin kohdalla tämä tarkoittaa vain muutosta toiseen luokkaan.

Mallien vedonlyöntikertoimien luotettavuutta tarkasteltiin laskemalla, osuuko mallin tulos 95 % luottamustasolle. Luottamustason laskenta on sisäänrakennettu mallia tarkasteleviin komentoihin.

3 TULOKSET

Tuhojen kokonaislukumäärä laski mittausten edetessä, mutta latvuksen kunnon jakautuminen kolmeen luokkaan pysyi suhteessa samana lukuun ottamatta ensimmäistä mittausta taulukon 5 mukaisesti. Yleisin tuhonaiheuttaja vaihteli mittauskerran mukaan, mutta neljä vuotta aikaisemmin tapahtunut latvan kuolema sekä versosurma (*Gremmeniella abietina*) esiintyivät jokaisen mittauskerran yleisimmissä tuhonaiheuttajissa (Taulukko 6). Versosurma aiheutti myös huomattavasti useammin latvukselle pahoja tuhoja (latvuksen kunto 3) kuin kaikki tuhonaiheuttajat keskimäärin, mutta vaikutus lieveni kolmanteen mittauskertaan mennessä.

Neljän vuoden takainen tuho on tappanut latvan ja aiheuttanut aukon latvukseen. Tätä tuhonaiheuttajaa ei ollut mahdollista määrittää jälkikäteen. Aukko aiheutti jokaisella mittauskerralla latvuksen kunnon 2 reilusti suuremmalla todennäköisyydellä kuin tuhonaiheuttajat keskimäärin. Loppukesällä – alkusyksystä myös halla näyttäisi vaivaavan joulukuusia aiheuttaen selkeitä tuhoja keskimääräistä enemmän.

Taulukko 5: Tuhojen määrä ja latvuksen kunnon jaottuminen kolmeen luokkaan kullakin mittauskerralla.

Mittauskerta	Tuhojen kokonaislukumäärä	% Latvuksen kunto = 1	% Latvuksen kunto = 2	% Latvuksen kunto = 3
1	421	52 %	42 %	6 %
2	420	71 %	24 %	5 %
3	351	74 %	23 %	3 %
4	301	73 %	23 %	4 %
5	230	74 %	22 %	4 %

Monet muut tuhonaiheuttajat saattoivat aiheuttaa lähes yksinomaan pahoja tuhoja, mutta esiintymistiheys on niin vähäinen, ettei voida puhua viljelmää vaivaavasta tuhonaiheuttajasta. Tällainen oli esimerkiksi kuusen mustakoro (*Neonectria fuckeliana*) toisella mittauskerralla. Liitteessä 2 on kaikkien tuhonaiheuttajien ehdolliset todennäköisyydet esiintymiselle sekä tuhon voimakkuudelle ja mittauksissa havaitut osuudet tuhoista.

Taulukko 6: Mittauskertojen merkittävimmät tuhonaiheuttajat ja ehdolliset todennäköisyydet. Ensimmäinen todennäköisyys kertoo, millä todennäköisyydellä kyseinen tuhonaiheuttaja on kyseessä, kun latvuksen kunto on kaksi tai kolme. Kaksi muuta todennäköisyyttä kertovat, millä todennäköisyydellä kyseinen tuhonaiheuttaja aiheuttaa latvuksen kunnan kaksi ja kolme.

Mittauskerta	Suurimmat frekvenssit (suurin neljännes), suluissa %-osuus mittauskerran tuhoista	Todennäköisyys, että on syy ja latvuksen kunto 2 tai 3	Todennäköisyys aiheuttaa latvuksen kunto 2	Todennäköisyys aiheuttaa latvuksen kunto 3
1	Aukko 4 vuotta sitten (26%)	52 %	70 %	2 %
	Ei selkeää syytä (15%)	6 %	6 %	2 %
	<i>Lirula macrospora</i> (12%)	23 %	39 %	6 %
	<i>Gremmeniella abietina</i> (8%)	33 %	55 %	18 %
	<i>Thekopsora areolata</i> (7%)	7 %	41 %	0 %
2	Aukko 4 vuotta sitten (25%)	57 %	41 %	3 %
	<i>Lirula macrospora</i> (13%)	18 %	25 %	2 %
	<i>Gremmeniella abietina</i> (12%)	34 %	22 %	10 %
	Heikko kasvu, liian kostea kasvupaikka (10%)	6 %	2 %	2 %
	<i>Thekopsora areolata</i> (10%)	19 %	25 %	5 %
3	<i>Chrysomyxa ledi</i> (24%)	62 %	25 %	5 %
	Kuivuus (23%)	49 %	23 %	4 %
	Kirvoja [leppäkerttuja käytetty indikaattorina] (18%)	31 %	16 %	3 %
	Aukko 4 vuotta sitten (15%)	35 %	41 %	2 %
	<i>Sirococcus conigenus</i> tai <i>Thekopsora areolata</i> (6%)	5 %	20 %	0 %
4	Aukko 4 vuotta sitten (28%)	64 %	32 %	4 %
	Kuivuus (15%)	14 %	9 %	2 %
	<i>Gremmeniella abietina</i> (14%)	24 %	12 %	5 %
	Halla tai <i>Thekopsora areolata</i> (14%)	28 %	34 %	2 %
	Halla (7%)	9 %	29 %	0 %
5	Aukko 4 vuotta sitten (27%)	39 %	33 %	0 %
	<i>Gremmeniella abietina</i> (17%)	32 %	13 %	5 %
	Halla, <i>Sirococcus conigenus</i> tai <i>Thekopsora areolata</i> (13%)	21 %	17 %	3 %
	Halla tai <i>Thekopsora areolata</i> (14%)	27 %	33 %	4 %
	<i>Chrysomyxa abietis</i> (10%)	34 %	25 %	8 %

Eri tekijöiden vaikutuksille latvuksen kuntoon laskettiin vedonlyöntikertoimet (taulukko 7), joista suurin osa on tilastollisesti merkitseviä ($p < 0,05$ %). Tilastollisesti merkitsevät kertoimet vaihtelivat välillä 1,45–8,51. Tilastollisesti merkitsemättömät kertoimet jäivät kaikki alle kahteen (vaihteluväli 0,74–1,78).

Maalajin ja taimimateriaalin vaikutus kasvoi kolmannen mittauskerran jälkeen sekä yhden tekijän että kahden tekijän malleissa. Ainoana tekijänä kummankin kerroin kasvoi yli kaksinkertaiseksi viimeiseen kahteen mittaukseen, mutta yhteisvaikutusmallissa ero ei ollut yhtä iso. Yhteisvaikutustilanteessa maalajin vaikutus on suurempi.

Metsänreunan vaikutus sen sijaan oli varsin korkea (yli 2) viimeistä mittauskertaa lukuun ottamatta. Erityisesti puiden ollessa lähempänä kuin 25 metriä metsänreunasta (metsänreuna 3) kasvoi vaikutus suureksi kolmannella mittauskerralla. Mallista riippuen kerroin kolmannella mittauskerralla oli 5,79 tai 8,51.

Mallissa, jossa tarkasteltiin metsänreunan ja taimimateriaalin yhteisvaikutusta, oli taimimateriaalin vaikutus selvästi pienempi kuin metsänreunalla kolmen ensimmäisen mittauksen kohdalla. Kahden viimeisen mittauksen kohdalla taimimateriaalin vaikutus kuitenkin kasvoi ohi metsänreunan vaikutuksesta.

Taulukko 7: Mallien vedonlyöntikertoimet. Asteriskilla merkityt arvot ovat tilastollisesti merkitseviä 95 % luottamustasolla. Metsänreuna 2 tarkoittaa lähempänä kuin 50 metriä metsänreunasta ja metsänreuna 3 tarkoittaa lähempänä kuin 25 metriä metsänreunasta.

		Mittauskerta				
		1	2	3	4	5
Maalajeilla						
	Maalaji	2,04*	2,12*	1,86*	4,03*	3,27*
Metsänreunalla						
	Metsänreuna 2	2,12*	3,09*	2,97*	2,01*	1,19
	Metsänreuna 3	1,21	2,29*	5,79*	1,78	1,01
Taimimateriaalilla						
	Taimimateriaali	1,45*	1,13	1,56*	3,78*	2,90*
Metsänreuna ja Taimimateriaali						
	Metsänreuna 2	2,24*	3,20*	3,30*	2,42*	1,34
	Metsänreuna 3	1,55	2,66*	8,51*	3,39*	1,68
	Taimimateriaali	1,60*	1,33	2,08*	4,55*	3,14*
Maalaji ja taimimateriaali						
	Maalaji	1,92*	2,55*	1,60*	2,50*	2,24*
	Taimimateriaali	1,11	0,74	1,29	2,52*	2,03*

*p < 0,05 %

4 TULOSTEN TARKASTELU

4.1 Tuhojen esiintyminen Suomessa ja viljelmällä

Suomessa eriasteisia tuhoja metsissä on pinta-alallisesti keskimäärin noin 45 % metsämaasta. Hämeen ja Uudenmaan alueella tuhoja on hieman enemmän, noin 45,9 %. Näistä tuhoista 50 % on lieviä tuhoja, 44 % todettavia ja 6 % vakavia tai täydellisiä tuhoja (Metsätilastollinen vuosikirja 2014). Tutkimuskohteen puustossa tuhoista lievät ja keskitasoiset (latvuksen kunto 1 ja 2) eroavat talousmetsien lukemista. Tutkimuskohteen tuhot jäivät selvästi lievemmiksi. Tämä on mielenkiintoinen huomio, sillä monokulttuureissa pitäisi esiintyä enemmän tuhoja kuin metsissä keskimäärin (Vehviläinen ym. 2006, Guyot ym. 2015). Pelto on toisaalta varsin pieni kooltaan ja kuuluu pirstaleiseen kokonaisuuteen, mikä taas voi vähentää tuhoja (Bommarco ja Banks 2003).

Tutkimuskohteessa ei myöskään esiinny talousmetsiä vaivaavaa juurikäpää (*Heterobasidion* sp.) eikä kaarnakuoriaisia (Scolytidae) lainkaan. Nämä aiheuttavat ongelmia vasta iäkkäämmille tai heikentyneille puille (Saalas 1949, Piri 2003). Vakavia tuhoja siitä huolimatta näyttäisi tutkimuskohteella olevan talousmetsiä vastaava määrä. Metsätalastollisen aikakauskirjan mukaan kaikista tuhoista vain noin 23 % aiheuttaa metsikön laatua alentavia tuhoja, mikä taas olisi linjassa latvuksen kunnon 2 (Selkeitä oireita, vaikuttaa puun ilmiasuun, esimerkiksi kokonainen oksa oireilee) kanssa. Myös vuonna 2005 suoritettun tutkimuksen (Lindgren ym. 2007) mukaan kuusista keskimäärin 18 % on selvästi harsuuntunut (harsuuntumisaste enemmän kuin 25 %) sieni- ja hyönteistuhojen tai abioottisten tekijöiden takia.

Ensimmäisen mittauskerran poikkeavat latvuksen kunnot johtuvat todennäköisesti siitä, että puissa on keväällä näkyvissä mahdolliset kevätahavan ja hallan merkit, jotka jäävät piiloon uusien silmujen auetessa ja kasvaessa. Pellon joulukuuset olivat myös ratkaisevan kokoisia tuhojen näennäisen paljouden kannalta. Pienissä puissa sama määrä tuhoja näyttää rajummalta. Puut kasvoivat mittauskesänä runsaasti, pituudeltaan myynnin kannalta liian pienistä myyntikelpoisiksi yksilöiksi. Keskimäärin puut kasvoivat noin 23 senttimetriä typistykset huomioon ottaen. Myös esimerkiksi aukot peittyvät osittain tai kokonaan, mikä parantaa puun ulkonäköä sekä latvuksen kunto -luokitusta.

Viimeisellä mittauskerralla viljelijä oli merkinnyt jo kaadettavia puita. Moni puu, joissa oli aukko ja jotka oli mittauksissa määritetty latvuksen kunto 2 -luokkaan, oli viljelijä merkinnyt myytäväksi. Selityksenä tälle viljelijä kertoi, että puut kaadetaan tyveä ylempää, jolloin terve osa latvasta saadaan myyntiin hieman pienempänä puuna. Näin ollen aukkojen aiheuttama ongelma on mahdollista kiertää myös selkeiden vaurioiden jo synnyttyä. Joulukuusten tuotannossa voimakkaan sivuoksien kasvun myös oletetaan peittävän mahdolliset tuhonaiheuttajien tekemät muotoviat (Nettleton ja Hain 1982).

4.2 Joulukuusen kasvatusta ja kuusen kasvuun vaikuttavia tekijöitä

Viljelmän kuusikko oli mittausten perusteella varsin terve. Tutkittavalla viljelmällä hoitotoimenpiteisiin oli kiinnitetty runsaasti huomiota. Joulukuusten viljelyssä pyritään kasvattamaan terveitä kuusia ja siksi hoitotoimenpiteet sekä viljelmän ominaisuudet perustuvat kuusen ominaisuuksiin.

Kuusi allokoit voimakkaasti kasvuaan apikaali- eli kärkisilmuun latvassa. Tutkimuksissa on havaittu, että silmun kasvuun runsaimmin vaikuttavaa sytokiini-kasvihormonia saattaa olla kärkisilmussa 45-kertainen määrä oksien silmuihin verrattuna (Bollmark ym. 1995). Joulukuusen kasvua rajoitetaan tyypistämällä latva kasvukauden aikana. Toisaalta seuraavan kesän kasvuun vaikuttaa myös runsaasti kasvukauden lämpötila. Jos talvehtivien silmujen kehityksen aikana lämpötila on alhainen, lakkaavat kasvaimet kasvamasta aikaisemmin seuraavana kesänä (Heide 1974).

Kuusten kasvuun vaikuttaa myös istutustiheys. Tiheydelle opastetaan nykyisin mönkijän mentävää väliä heinäntorjunnan helpottamiseksi (Johansson 1997). Tiheämmässä puustossa saadaan puun kasvu kuitenkin suunnattua joulukuusta ajatellen sopivammin. Niin kauan kuin puiden oksat eivät koske toisiaan kasvavat kasvaimet pidemmiksi ja terhakammiksi kohti valoa. Tällöin puu myös rajoittaa rungon läpimitankasvua (Wühlich ja Muhs 1987). Joulukuusenkasvatuksen kannalta pidemmät kasvaimet ovat parempia, sillä ne antavat pelivaraa muoto- ja hoitoleikkauksille. Joulukuusilla rungon liikakasvu voi olla haitaksi, sillä liian paksut tyvet eivät kunnolla mahdu joulukuusen jalkaan, jolloin puuta voi olla vaikea saada myydyksi.

Viljeltävien taimien valintaan on myös syytä kiinnittää erityistä huomiota. On valittava taimia, jotka eivät tule liian kaukaa, etteivät ne ole alttiita alueen tuhonaiheuttajille eivätkä ilmasto-olosuhteille (Wingfield ym. 2008). Sopivalta vyöhykkeeltä tulevalle taimimateriaalilla on hyvät edellytykset kasvaa voimakkaasti (Solantie 1988). Tutkitavan viljelmän puut olivat paikallisilmastoon soveltuvaa alkuperää.

Kuusella kasvunopeuteen ei vaikuta puun sijainti etelä-pohjoissuunnassa (Skrøppa ja Magnussen 1993). Puun alkuperän sijainti näyttäisi vaikuttavan vain kasvun alku- ja loppuajankohtaan, joka liian pohjoisessa kasvatettuna altistaa hallatuhoille. Ei siis ole perusteltua hankkia eteläisempää taimimateriaalia joulukuusiksi.

Joulukuusten kärsiessä usein erilaisista ravinnepuutoksista on lannoitus tärkeä toimenpide. On taattava riittävä ravinteidensaanti puutostiloista johtuvien häiriöiden välttämiseksi, mutta on myös mahdollista vaikuttaa puun kasvuun ravinnetasapainoa muuttamalla. Vuonna 1995 tehdyn tutkimuksen perusteella eri ravinteiden rajoittaessa kasvua puun verso-juuri-suhde muuttuu (Ericsson 1995). Tutkimuksessa havaittiin, että kun typpi, fosfori, kalium tai hiilidioksidi oli kasvua rajoittavana tekijänä, kuuset alkoivat kasvun juurten sijaan oksiin. Kaliumin, magnesiumin ja mangaanin kohdalla puolestaan vaikutus oli päinvastainen.

Tutkittavalla viljelmällä oli teetetty maaperän viljavuustutkimus. Tämän perusteella viljelijä oli osannut valita sopivan lannoitteen. Runsas lannoitus oli perusteltu, sillä pellolta löytyi inventoinnin yhteydessä jonkin verran puita, joiden latvuksen kunto oli yksi, mutta kasvuennuste kolme (puusta ei tule joulukuusta). Nämä puut olivat vain ravinnepuutosten tai muun heikon kasvun takia jääneet pieniksi.

Tietoa hyödyntämällä voisi joulukuusia kasvattaa tuuheammiksi lannoittamalla riittävästi, mutta rajoittamalla kasvua juuri typen, fosforin ja kaliumin avulla. Tällöin turhaa juurtenkasvattamista ei tapahtuisi. Toisaalta pitäisi varoa myös kasvattamasta puun latvusta liian suureksi juuristolle ylläpidettäväksi.

4.3 Hyönteiset joulukuusiviljelmällä

Leikkaukset ja hyönteismyrkyn levitys näyttävät olevan tehokkaita toimenpiteitä erityisesti hyönteisiä vastaan. Kolmannen mittauksen jälkeen hyönteisten aiheuttamat ongelmat olivat käytännössä poissa muutamia isohavukirvan äkämiä lukuun ottamatta. Teho perustunee siihen, että pellolla esiintyi lähinnä kirvoja, jotka iskevät juuri silmuihin tai tuoreisiin versoihin. Typistyksessä juuri nämä uudet versot leikataan osittain tai kokonaan pois, jolloin tuho ja sen aiheuttaja poistuvat puusta (Nettleton ja Hain 1982). Joulukuusten kasvatusohjeissa myös kehoitetaan suorittamaan erityisiä hoitoleikkauksia vaurioiden pienentämiseksi ja piilottamiseksi (Pirttilä ym. 2007). Kun vaikutusta vielä tehostetaan hyönteismyrkyllä, ei kirvoista ole syksyllä jälkeäkään. Isohavukirvojen (*Sacchiphantes abietis*) äkävät sen sijaan sijaitsevat kasvaimen tyvellä ja siksi saattavat selvitä typistyksestä. Leikkaukset poistivat myös huomattavan määrän sienitautien oireita ja viimeisissä mittauksissa olikin huomattavasti vähemmän tuhoja alkukesään nähden.

Hyönteiset aiheuttavat Hämeen ja Uudenmaan alueella vain 0,4 % talousmetsien laatuun vaikuttavista tuhoista (Metsätilastollinen vuosikirja 2014). Toisaalta talousmetsien kohdalla tukkipuun laatu on tarkasteltava kriteeri eikä joulukuusten tapaan latvuksen kunto. Pellolla ei myöskään esiintynyt yleisesti pahana joulukuusiviljelmiä vaivaavana hyönteisenä pidettyä (Pirttilä ym. 2007) kuusenneulaspistiäistä (*Pristiphora abietina* Christ.). Tämä johtuu joko siitä, ettei alueella ole kuusenneulaspistiäistä tai hyönteismyrkky on levitetty juuri oikeaan aikaan. Hyönteiset eivät siis ole kovin vakava uhka joulukuustenkasvatukselle, erityisesti jos käytetään hyönteismyrkyä niiden torjuntaan.

Hyönteismyrkyn runsasta levittämistä pitäisi tosin välttää puita kasvatettaessa. Vaikka ruiskutusten voimaa ei voi väheksyä, on niillä myös haittavaikutuksena hyönteisten luonnollisten vihollisten katoaminen. Luonnolliset viholliset ovat yksi suurimmista hyönteisten määrää rajoittavista tekijöistä (Wingfield ym. 2008). Ruiskutukset tulisi keskittää kahdelle viimeiselle vuodelle ennen myyntiä. Aikaisemmin tulleet lievät aukot ehtivät peittyä uusien kasvainten alle ja leikkauksilla saadaan poistettua lähinnä uusimpiin kasvaimiin iskeneet hyönteiset. Toki pahoina esiintymisvuosina voidaan ruiskutuksia käyttää laajojen tuhojen ehkäisemiseksi (Nettleton ja Hain 1982).

4.4 Tuhonaiheuttajasienet joulukuusiviljelmällä

Versosurman (*Gremmeniella abietina*) esiintyminen oli odotetusti runsasta, sillä se on yleisimpiä joulukuusiviljelmiä vaivaavista sienistä (Pirttilä ym. 2007). Versosurma on ominaisuuksiltaan sopiva laji aiheuttamaan runsasta haittaa joulukuusenviljelylle, sillä se on runsaslukuisempi tiheässä puustossa sekä ravinteikkailla kasvupaikoilla (Nevalainen 1999). Tästä syystä olisikin perusteltua olla ainakaan lisäämättä kasvatustiheyttä, vaikkei sillä olekaan havaittu olevan juuri vaikutusta tuhoriskiä ylipäänsä (Archambault ym. 1993, Regolini ym. 2014). Joulukuuset myös kasvatetaan ravinteikkaassa maassa ja niitä lannoitetaan runsaasti, mikä saattaa altistaa versosurmalle. Runsaalla lannoituksella on todettu olevan sekä positiivisia (Lehtijärvi ja Barklund 1999) että negatiivisia (Kytö ym. 1996, Flückiger ja Braun 1999) vaikutuksia puiden tuhoalttiuteen. Liiallisen lannoituksen rajoittamisella saatettaisiin välttää myös runkojen voimakasta läpimitankasvua, joka haittaa kuusten myyntiä.

Huomionarvoinen seikka on kuusen suopursuruosteen (*Chrysomyxa ledi*) esiintyminen ainoastaan kolmannella mittauskerralla. Jos puut olisi silloin kaadettu joulukuusiksi, olisi lähes joka neljännessä ollut kuusen suopursuruostetta. Toisaalta sen aiheuttamat tuhot eivät näkyneet enää seuraavalla mittauskerralla. Neulaset, joissa oli puun ulkonäköön vaikuttavia itiöpusseja, olivat seuraavaan mittauskertaan mennessä pudonneet pois. Mittauskesänä pudonneiden neulasten aiheuttama ulkonäköhaitta jäi lähes huomaamattomaksi. Runsaina esiintymisvuosinaan kuusen suopursuruoste saattaa aiheuttaa harsuuntumista (Crane 2001) ja useana perättäisenä kesänä esiintyessään aiheuttaa puuston heikkenemistä ja taimikon kehityksen taantumista (Jalkanen 2003). Etelä-Suomessa runsaat esiintymisvuodet ovat harvinaisempia kuin Pohjois-Suomessa ja tuhot jäävät etelässä pääasiassa yksivuotisiksi (Jalkanen 2003). Näin ollen kuusen suopursuruosteen ei voi sanoa aiheuttavan merkittävää haittaa tälle pellolle. Suopursuruostetta pidetään kuitenkin yleisesti haitallisena sienenä joulukuusenkasvatukselle (Pirttilä ym. 2007).

Mallien antamista tuloksista voi vetää myös sen johtopäätöksen, että kuusen suopursuruoste ei viihdy aivan metsänreunassa. Tämä johtuu todennäköisesti metsänreunan luomasta mikroilmastosta, joka ei suosi suopursuruostetta. Kolmannella mittauskerralla metsänreunaa tarkastelevien mallien mukaan puun ollessa 25 metriä metsänreunasta on mallin vedonlyöntikerroin selvästi korkein. Metsänreuna vaikuttaa tulosten mukaan muutenkin olevan selvä tuhoilta suojaava tekijä sen vedonlyöntikertoimen ollessa suhteellisen korkea. Metsän reunan vaikutus lienee kuitenkin varsin lajikohtaista. Esimerkiksi puuvillaviljelmillä reunan läheisyydessä esiintyy enemmän tuholaisten luonnollisia vihollisia, jotka ehkäisevät tuhoja (Ge ym. 2004). Sen sijaan maissipellon vieressä olevalla auringonkukkaviljelmän reunalla esiintyi runsaammin tuhohyönteisiä, jotka vaivaavat sekä maissia että auringokukkia (McKone ym. 2001).

4.5 Lisääkö monokulttuuri tuhoalttiutta?

Monokulttuurin katsotaan lisäävän puuston tuhoalttiutta (Gadgil ja Bain 1999, Vehviläinen ym. 2006, Guyot ym. 2015). Tämän tutkielman kohteena olevasta puhtaasta kuusikosta ei löytynyt keskimääräistä metsää runsaampia tuhoja. Tutkimuskohde on tosin osa pirstaleista kokonaisuutta, jonka on osoitettu vähentävän monokulttuurin tuhoalttiutta (Bommarco ja Banks 2003).

Sekapuuston tuhoja vähentäväksi vaikutukseksi tuhohyönteisten kohdalla sekä Vehviläinen (2006) että Guyot (2015) ovat esittäneet, että sekapuustossa toinen puulaji muodostaa esteen hyönteisen ja isäntäpuun väliin. Vaikutuksen on havaittu olevan selkeä etenkin näköhavaintojen perusteella suunnistavilla tuhohyönteisillä (Guyot ym. 2015). Myös väliin jäävän puun pituuden on havaittu korreloivan käänteisesti hyönteisen kykyyn havaita taakse jäävä (isäntä)puu (Regolini ym. 2014, Guyot ym. 2015).

Monokulttuurin ja sekapuuston ero tuhoalttiudessa näyttäisi olevan selkeimmillään kuitenkin vasta, kun tarkastellaan metsää maisematasolla (Jactel ym. 2005). Tuhoalttiutta tarkastellessa on myös metsätalouden kannalta mietittävä sekapuuston taloudellisia vaikutuksia. Tällöin sekapuusto mosaiikkimaisesti maisematasolla on kannattavampaa kuin pienipiirteinen sekapuusto saavutettujen hyötyjen valossa (Hartley 2002, Jactel ym. 2005). On myös esitetty ajatus, ettei monokulttuuri lisäisi puiden tuhoalttiutta, vaan pikemminkin vaikuttaisi tuhojen hetkelliseen esiintymislaajuuteen (Koricheva ym. 2006). Vaikutuksen katsottiin katoavan puuston elpyessä epidemian jälkeen.

Korichevan tutkimusryhmä ehdottaa, että puulajivalinnalla olisi suurempi vaikutus tuhoalttiuteen (Koricheva 2006). Puulajien ollessa systemaattisesti kauempana toisistaan on niiden tuhoriskiä vähentävän vaikutuksen todettu olevan suurempi (Jactel ja Brouckhoff 2007, Castagnérol ym. 2014, Guyot ym. 2015). Erityisen selvä hyödyn lisäys on, jos puustossa on sekä havupuita että lehtipuita (Castagnérol ym. 2014). Toisaalta normaalista poikkeavat lajiyhdistelmät saattavat häiritä alueelle luonnollisen puustosekoituksen tuomaa tuholaisresistenssiä (Larsen 1995), jolloin väärä puulajiyhdistelmä saattaa jopa lisätä tuhoriskiä (Koricheva ym. 2006). Tässä erityisesti generalistit tuhonaiheuttajat ovat avainasemassa.

Erilaisten generalistien on havaittu lisääntyvän sekapuustossa (Guyot ym. 2015), eikä tuhoriskiä pienentävää vaikutusta välttämättä edes pystytä havaitsemaan (Koricheva ym. 2006). Esimerkiksi hirvien (*Alces alces* L.) sekä hiirien ja myyrien (Muridae) on osoitettu jopa aiheuttavan laajempia tuhoja sekapuustossa (Koricheva ym. 2006). Tällöin todennäköisesti on sekapuuna käytetty puuta, joka on kyseisille tuhonaiheuttajille maistuva ravintopuu. On myös pystytty osoittamaan generalistille tuhonaiheuttajalle hyvin maistuvan isäntäpuun lisäävän tuhoriskiä ympäröivässä puustossa (Jactel ja Brouckhoff 2007), jolloin puulajivalinnan kanssa on oltava erityisen tarkka.

Sekapuustolla siis on tuhoja pienentävä vaikutus sopivilla puulajeilla ja tarpeeksi laajassa mittakaavassa tarkasteltuna. Sekapuusto myös hyödyntää saatavissa olevia resursseja monokulttuuria tehokkaammin (Hartley 2002). Tuhoriskiä on monesti käytetty myös syynä monimuotoisuuden suosimiselle metsälakeja säädettäessä Suomessa (Koricheva ym. 2006). Korichevan mukaan kiertoajan ylittävää tutkimusaineistoa on vielä varsin rajatusti eikä voida vielä varmuudella sanoa monokulttuurin vaikutuksista tai sekapuuston hyödyistä tuhoalttiuteen (Hartley 2002).

Tutkittava puusto on monokulttuuriksi huomattavan terve. Erityisesti lievät tuhot jäävät selvästi alle Hämeen ja Uudenmaan metsien keskimäärää eikä tuhohyönteisiä esiintynyt viljelmällä juuri lainkaan. Tähän vaikuttaa pirstaleisuuden lisäksi toistuvat hoitotoimenpiteet. Ei siis voida sanoa monokulttuurin olevan joulukuusiviljelmän ominaisuus, joka lisäisi tuhoriskiä.

4.6 Menetelmistä

Otoksen koko on riittävän iso, jotta mallien luonti luotettavasti onnistuu. Toisaalta erityisesti latvuksen kunto 3 -luokkaan kuuluvien tuhojen frekvenssit olivat niin pieniä, ettei niille ollut mielekästä soveltaa tilastollisia menetelmiä. Tästä syystä tuhojen voimakkuutta ja yleisyyttä tarkasteltiin silmämääräisesti ristitaulukoista. Sekä tuhojen määrän että mallien heikkoutena on myös se, etteivät ne ota huomioon useampaa tuhoniheuttajaa samassa puussa. Samassa puussa saattoi olla useampikin tuhoniheuttaja eikä mittaustapa erotellut niiden vaikutusta, joten taulukoihin ja malleihin päätyi saman puun eri tuhoniheuttajille sama latvuksen kuntoluokitus.

Tuhon voimakkuuden määrittelyssä tutkimus pyrkii olemaan objektiivinen, mutta latvuksen kunto -asteikko on tietyllä tasolla subjektiivinen ja perustuu omaan näkemykseeni joulukuusista. Toisaalta kolmannella mittauskerralla sairastapauksen takia puut inventoi sijainen ja lyhyen opastuksen jälkeen hän toimi itsenäisesti mittauksen loppuun asti. Mittaajasta riippumatta kolmannen mittauskerran tulokset ovat hyvin linjassa muiden mittausten kanssa. Tämä viittaisi siihen, että asteikko ei olisi kovin subjektiivinen.

Tuhojen tunnistus oli joidenkin oireiden osalta hankalaa, sillä se tapahtui merkintöjen ja valokuvien avulla. Jokaisesta tuhosta otettiin näytteet steriiliin KiiltoClean Hygicult® E -testiputkeen, josta kasvatusalusta oli poistettu. Morfologisia tunnistuksia ei

kuitenkaan tehty. Tuhonaiheuttajasienet itiöivät eri aikoihin kesällä ja mikroskoopilla tehtävää morfologista tunnistamista varten olisi pitänyt saada kerättyä itiöitä. Tunnistuksella olisi mahdollisesti ollut vaikutus hallan tai kuusen tuomiruosteen (*Thekopsora areolata*) tuhojen frekvensseihin.

Mallien antamat tulokset ovat lähes kaikki tilastollisesti merkitseviä, mutta muutamit tilastollisesti merkitsemättömät tulokset johtuvat luultavimmin aineiston koosta. Eri-tyisesti muuttuja ”metsänreuna 3” (lähempänä kuin 25 metriä metsänreunaa) kärsii aineiston pienuudesta, sillä vain kolme koealaa sijaitsi alle 25 metriä metsänreunasta. On myös mahdollista, että leikkaukset ovat vaikuttaneet juuri metsänreunan tuloksiin kolmannella mittauskerralla. Leikkaukset pellolla aloitettiin samana päivänä mittauksen kanssa ja tarkoituksena oli, että leikkaukset seuraavat mittaajaa. Jos leikkaajat ovat kuitenkin lähteneet eri päästä ensimmäistä sarkaa mittaajaan nähden, ovat he typistäneet juuri lähimpänä metsänreunaa olevien koealojen puut. Se selittäisi miksi kolmannella mittauskerralla metsänreunan 3 vaikutus oli moninkertainen muihin mittausker-toihin nähden.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Joulukuusien tuhoja ei ole aikaisemmin tässä mittakaavassa tutkittu Suomessa. Aineisto on poikkeuksellinen siinäkin mielessä, ettei puiden tuhoja yleensä tutkimuksissa seurata kasvukauden aikana. Tässä tutkimuksessa samat puut inventoitiin viidesti, jolloin pystyttiin seuraamaan tuhojen kehitystä kasvukauden aikana. Esimerkiksi Luonnonvarakeskuksen metsien terveydentilan seuranta valtion metsien inventoinnin yhteydessä tarkastelee havaintopuiden tilaa vain kerran vuodessa. Tuholaisdynamiikkaa kasvukauden aikana ei ole aikaisemmin tutkittu näin laajasti.

Joulukuusenviljelyn kannalta tuhoja kannattaa seurata kesän aikana, mutta ei huolestua ensimmäisten oireiden ilmetessä. Tämä tutkimus on osoittanut, että osa oireista katoaa kasvun ansiosta ja osa (esimerkiksi kuusen suopursuruoste lievänä esiintyessä) ei aiheuta merkittävää haittaa, vaikka esiintyessään saattaa näyttää hankalalta. Lisäksi joka tapauksessa tehtävillä typistyksillä on selvä vähentävä vaikutus tuhojen esiintymiseen.

Hyönteismyrkky yhdistettynä leikkauksiin vähentää tuhohyönteisten määrän lähes olemattomiin. Toisaalta hyönteismyrkyn käyttö pitäisi painottaa viimeisille vuosille ennen puiden myyntiä, sillä se tappaa myös tuhohyönteisten luontaisia vihollisia. Hyönteisten luontaiset viholliset ovat kuitenkin iso tuhoja pienentävä tekijä.

Tämän tutkimuksen valossa joulukuusiviljelmä ei monokulttuurina ole altis tuhoille. Toimenpiteillä voidaan sekä ennaltaehkäistä tuhoja että korjata jo aiheutuneita vaurioita.

6 KIITOKSET

Syksyllä 2015 Hyvinkääläinen joulukuusien ja leikkohavujen viljelijä Martti Ruohonen otti yhteyttä Helsingin yliopiston metsäpatologian yliopistonlehtoriin Risto Kasaseen ja kysyi apua erään viljelmänsä osan tuholaisongelman selvittämiseksi. Minulle tarjottiin mahdollisuutta tehdä aiheesta pro gradu -tutkielma, jolla selvitettäisiin viljelmää vaivaavat tuhonaiheuttajat. Kiinnostuin mahdollisuudesta, sillä olen työskennellyt opintojeni aikana runsaasti joulukuusten parissa erityisesti toimiessani yrittäjänä Metsäylioppilaiden kuusikaupassa. Vastuuprofessoriksi ja toiseksi ohjaajaksi liittyi metsäeläintieteen professori Kari Heliövaara, jotta myös metsäeläintieteellinen puoli katettaisiin. Ohjaajiltani sain runsaasti tukea tutkielman tekoon ja he myös patistivat hiomaan työtä vielä hieman paremmaksi. Viljelijä Martti Ruohonen tuki tutkimusta rahallisesti.

Tutkielman aineiston käsittelyn kanssa sain paljon apua metsätieteiden laitoksen tilastotieteen vastuulliselta tutkijalta Jarkko Isotalolta. Aineiston käsittely ei silti olisi edennyt ilman Queen Margaret Universityn puheentutkija Pertti Paloa, joka auttoi ja mentoroi minua erityisesti R-ohjelmoinnin kanssa. Oikolukuun ja tekstin sujuvoittamiseen sain runsaasti apua metsänhoitaja Sini Arnkililta. Kesän mittaukset eivät sairastapauksen takia olisi onnistuneet ilman metsäylioppilas Risto Kiiskistä, joka tuli kolmannella mittauuskerralla tekemään mittaukset.

7 KIRJALLISUUS

Archambault, L., Morrissette, J., Lavallee, R. & Comtois, B. 1993. Susceptibility of Norway spruce plantations to white-pine weevil attacks in southern Quebec. *Canadian Journal of Forest Research* 23(11): 2362–2369.

Bollmark, M., Chen, H., Moritz, T & Eliasson, L. 1995. Relations between cytokinin level, bud development and apical control in Norway spruce, *Picea abies*. *Physiologia Plantarum* 95(4): 563–568.

Bommarco, R. & Banks, J. 2003. Scale as modifier in vegetation diversity experiments: Effects on herbivores and predators. *Oikos* 102(2): 440–448.

Castagneyrol, B., Jactel, H., Vacher, C., Brockerhoff, E.G. & Koricheva, J. 2014. Effects of plant phylogenetic diversity on herbivory depend on herbivore specialization. *Journal of Applied Ecology* 51(1): 134–141.

Chastanger, G.A. & Benson, D.M. 2000. The christmas tree: Traditions, production, and diseases. *Plant Health Progress* doi:10.1094/PHP-2000-1013-01-RV. [Verkköjulkaisu]. Saatavissa: <https://www.plantmanagementnetwork.org/pub/php/review/1225tree/>. [Viitattu 11.5.2017].

Crane, P. 2001. Morphology, taxonomy, and nomenclature of the *Chrysomyxa ledi* complex and related rust fungi on spruce and ericaceae in North America and Europe. *Canadian Journal of Botany* 79(8): 957–982.

Dulaurent, A., Porte, A.J., van Halder, I., Vetillard, F., Menassieu, P. & Jactel, H. 2012. Hide and seek in forests: Colonization by the pine processionary moth is impeded by the presence of nonhost trees. *Agricultural and Forest Entomology* 14(1): 19–27.

Ericsson, T. 1995. Growth and shoot: Root ratio of seedlings in relation to nutrient availability. *Plant and Soil* 168(1): 205–214.

Flückiger, W. & Braun, S. 1999. Nitrogen and its effect on growth, nutrient status and parasite attacks in beech and Norway spruce. *Water Air and Soil Pollution* 116(1–2): 99–110.

Gadgil, P.D. & Bain, J. 1999. Vulnerability of planted forests to biotic and abiotic disturbances. *New Forests* 17(1–2): 227–238.

Ge, F., Men, X., Su, J., Liu, X. & Ding, Y. 2004. *Ying Yong Sheng* 15(1): 91–94.

Guyot, V., Castagneyrol, B., Vialatte, A., Deconchat, M., Selvi, F., Bussotti, F. & Jactel, H. 2015. Tree diversity limits the impact of an invasive forest pest. *Plos One* 10(9): e0136469.

- Hartley, M.J. 2002. Rationale and methods for conserving biodiversity in plantation forests. *Forest Ecology and Management* 155(1): 81–95.
- Heide, O.M. 1974. Growth and dormancy in Norway spruce ecotypes. *Physiologia Plantarum* 31(2): 131–139.
- Hytönen, M. 1995. Multiple-use forestry in the Nordic countries. Metsäntutkimuslaitos, Vantaa. 460 s.
- Jactel, H., Brockerhoff, E.G. 2007. Tree diversity reduces herbivory by forest insects. *Ecology Letters* 10(9): 835–848.
- Jactel, H., Brockerhoff, E.G. & Duelli, P. 2005. A test of the biodiversity-stability theory: Meta-analysis of tree species diversity effects on insect pest infestations, and re-examination of responsible factors. *Forest diversity and function*. Springer. s. 235–262.
- Jalkanen, R. 2003. Havupuutaimikoiden tuhojen esiintyminen ja merkittävyys Suomessa. *Metsätieteen aikakauskirja* (1): 59–68.
- Kasanen, R. 2009. Metsäpuiden sienitaudit. *Metsäkustannus*, Helsinki. 221 s.
- Kautz, M., Schopf, R. & Ohser, J. 2013. The "sun-effect": Microclimatic alterations predispose forest edges to bark beetle infestations. *European Journal of Forest Research* 132(3): 453–465.
- Kersalo, J. & Pirinen, P. 2009. Suomen maakuntien ilmasto. Ilmatieteenlaitoksen raportteja 8.
- Koricheva, J., Vehviläinen, H., Riihimäki, J., Ruohomäki, K., Kaitaniemi, P. & Ranta, H. 2006. Diversification of tree stands as a means to manage pests and diseases in boreal forests: Myth or reality? *Canadian Journal of Forest Research* 36(2): 324–336.
- Kytö, M., Niemelä, P. & Annala, E. 1996. Vitality and bark beetle resistance of fertilized Norway spruce. *Forest Ecology and Management* 84(1–3): 149–157.
- Larsen, J.B. 1995. Ecological stability of forests and sustainable silviculture. *Forest Ecology and Management* 73(1): 85–96.
- Lehtijärvi, A. & Barklund, P. 1999. Effects of irrigation, fertilization and drought on the occurrence of *Lophodermium piceae* in *Picea abies* needles. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14(2): 121–126.
- Lehto, T., Ruuhola, T. & Dell, B. 2010. Boron in forest trees and forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 260(12): 2053–2069.
- Lilja, A., Himanen, K., Poimala, A. & Poteri, M. 2013. Metsäpuiden taimituotantoa ja joulupuiden kasvatusta uhkaavat taudit. *Metsätieteen aikakauskirja* (4): 647–674

- Lindgren, M., Nevalainen, S. & Pouttu, A. 2007. Forest condition in national systematic network (forest focus/ICP forests, level I) in 2002–2005. *Metsäntutkimuslaitoksen työraportteja* 45(1): 21–40.
- McKone, M.J., McLauchlan, K.K., Lebrun, E.G. & McCall, A.C. 2001. An edge effect caused by adult corn-rootworm beetles on sunflowers in tallgrass prairie remnants. *Conservation Biology* 15(5): 1315–1324.
- MetINFO – Metsien terveyst, metsätuho-opas, tuhonaiheuttajaluettelo. 2017. [www-sivusto]. Luonnonvarakeskus. Saatavissa: <http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveyst/opas/tuhonaiheuttajaluettelo.htm>. [Viitattu 6.4.2017].
- Metsätilastollinen vuosikirja. 2014. Metsäntutkimuslaitos, Vantaa. 428 s.
- Mikola, J. 1983. Joulupuu – kuusi ja moni muu. *Sorbifolia* 14(4): 159–166.
- Müller, M. & Hallaksela, A. 1998. Diversity of Norway spruce needle endophytes in various mixed and pure Norway spruce stands. *Mycological Research* 102(10): 1183–1189.
- Nettleton, W.A. & Hain, F.P. 1982. The life history, foliage damage, and control of the balsam twig aphid, *Mindarus abietinus* (homoptera: Aphididae), in fraser fir Christmas tree plantations of western North Carolina. *The Canadian Entomologist* 114(2): 155–165.
- Nevalainen, S. 1999. Gremmeniella abietina in finnish *Pinus sylvestris* stands in 1986–1992: A study based on the national forest inventory. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14(2): 111–120.
- Piri, T. 2003. Early development of root rot in young Norway spruce planted on sites infected by *Heterobasidion* in southern Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 33(4): 604–611.
- Pirttilä, V., Pulkkinen, M., Päivänen, J., Reinikainen, J. & Tukia, T. 2007. Joulupuukirja: joulupuun kasvatuksen perusteet Suomessa. Joulupuuseura, Tuovilahti. 183 s.
- Poteri, M. 1999. Taimituho-opas. Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen tutkimusasema, Suonenjoki. 128 s.
- Päivänen, J. 1993. Joulukuusi kautta aikojen: kuusennäreestä viljelypuuksi. Metsäekologian laitos, Helsinki. 20 s.
- Regolini, M., Castagnèyrol, B., Dulaurent-Mercadal, A., Piou, D., Samalens, J. & Jactel, H. 2014. Effect of host tree density and apparency on the probability of attack by the pine processionary moth. *Forest Ecology and Management* 334(1): 185–192.
- Saalas, U. 1949. Suomen metsähyönteiset sekä muut metsälle vahingolliset ja hyödylliset eläimet. Werner Söderström Oy, Porvoo. 719 s.

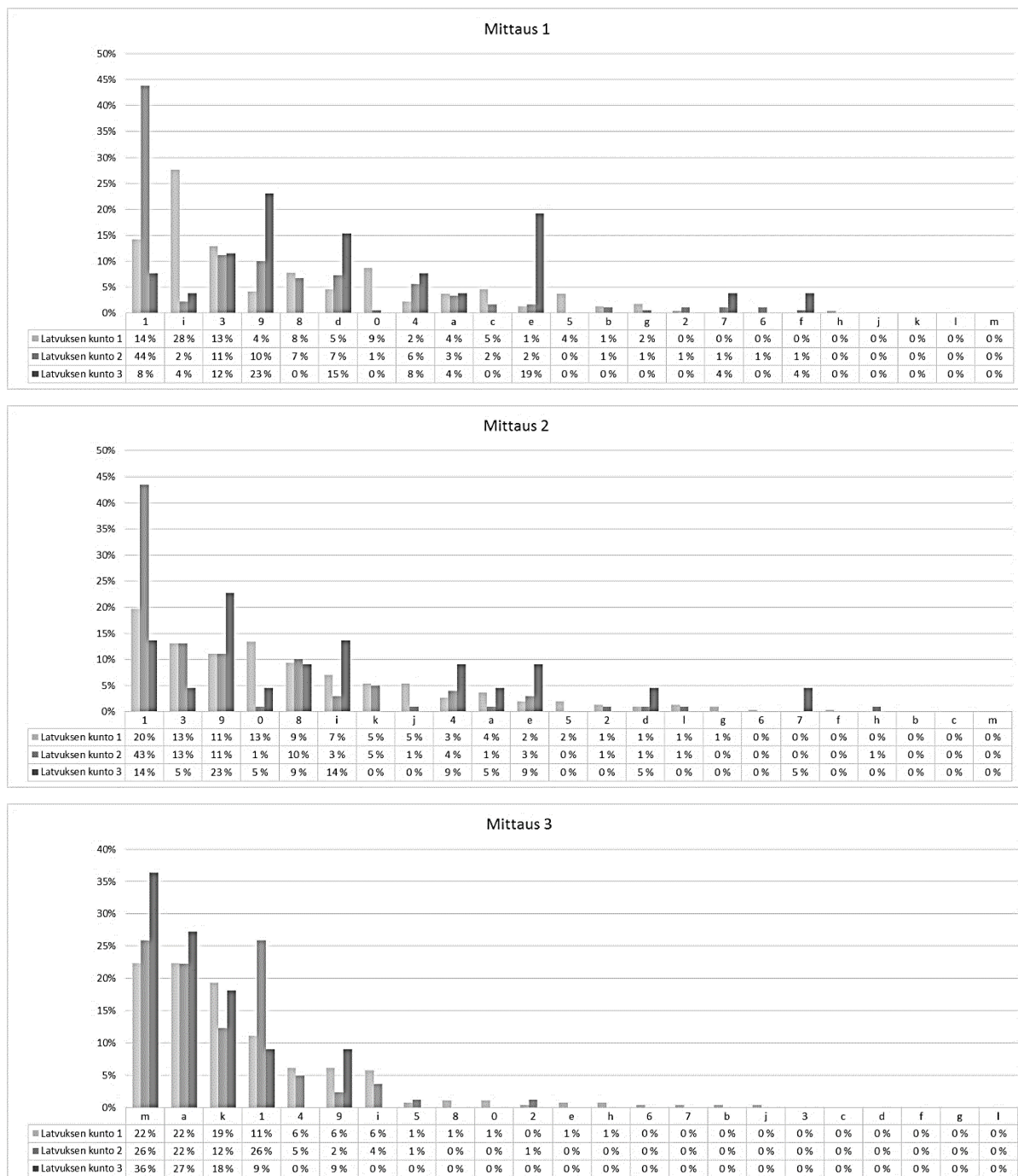
- Salingre, G. & Heliövaara, K. 2001. Lower canopy invertebrate diversity in relation to Norway spruce (*Picea abies*) proportion. *Norwegian Journal of Entomology* 48(1): 97–102.
- Skrøppa, T. & Magnussen, S. 1993. Provenance variation in shoot growth components of Norway spruce. *Silvae Genetica* 42(23): 111–120.
- Solantie, R. 1988. Täydennystä suomen hedelmäpuiden ja puuvartisten koristekasvien menesymisvyöhykkeisiin. *Sobifolia* 19(1): 124–126.
- Suomen joulupuutuotanto. 2016. [Verkkodokumentti]. Joulupuuseura ry. Saatavissa: <http://www.joulupuuseura.fi/ajankohtaista-sp-571083616>. [Viitattu 15.10.2016].
- Sæbø, A., Fløistad, I.S., Netland, J., Skúlason, B. & Edvardsen, Ø.M. 2009. Weed control measures in Christmas tree plantations of *Abies nordmanniana* and *Abies lasiocarpa* on agricultural land. *New Forests* 38(2): 143–156.
- Tyystjärvi, P. 1973. Joulukuusen kasvat. *Dendrologian seuran tiedotuksia* 1(1): 1–26.
- Uotila, A., Kasanen, R. & Heliövaara, K. 2015. Metsätuhot. Metsäkustannus, Latvia. 206 s.
- Vehviläinen, H., Koricheva, J., Ruohomäki, K., Johansson, T. & Valkonen, S. 2006. Effects of tree stand species composition on insect herbivory of silver birch in boreal forests. *Basic and Applied Ecology* 7(1): 1–11.
- Vesterinen, E. 1913. Joulukuuset. Suomen Metsänhoitoyhdistyksen julkaisuja, Metsätaloudellinen aikakauskirja 30(1): 31.
- Veteli, T.O., Koricheva, J., Niemelä, P. & Kellomäki, S. 2006. Effects of forest management on the abundance of insect pests on scots pine. *Forest Ecology and Management* 231(1–3): 214–217.
- Wingfield, M., Slippers, B., Hurley, B., Coutinha, T., Wingfield, B. & Roux, J. 2008. Eucalypt pests and diseases: Growing threats to plantation productivity. *Southern Forests: a Journal of Forest Science* 70(2): 139–144.
- Wühlisch, G & Muhs, H. 1987. Effect of spacing on growth, especially predetermined and free shoot growth on Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Silvae Genetica* 36(2): 72–76.

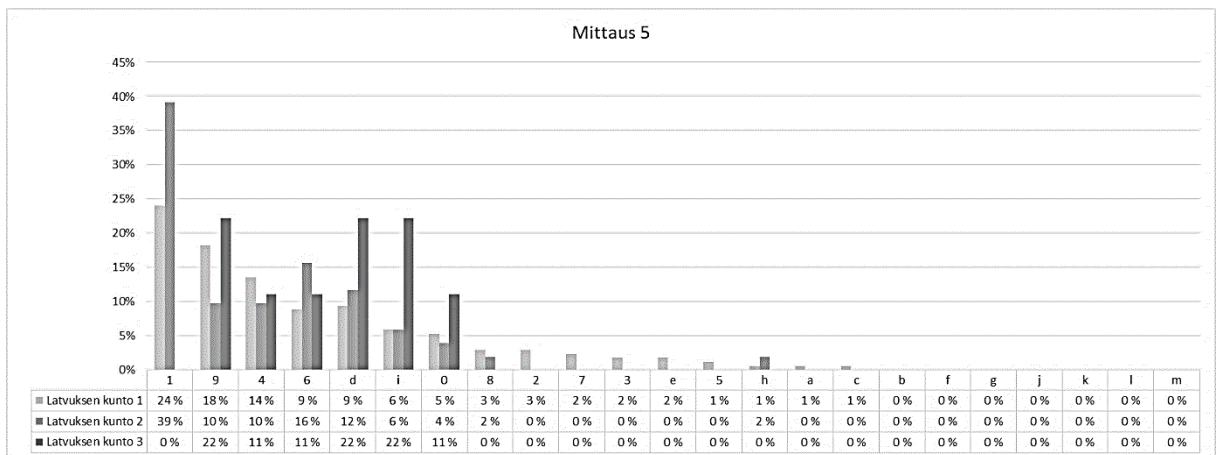
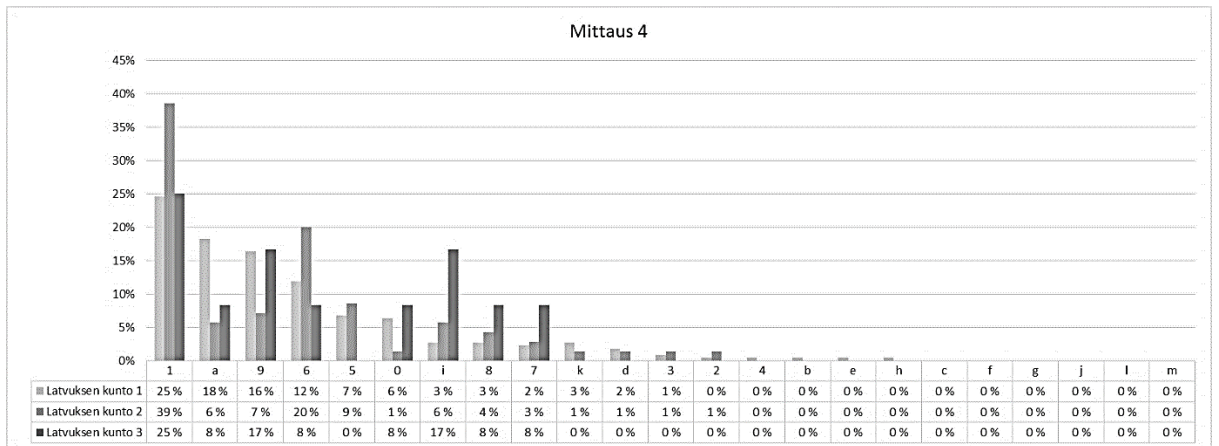
LIITE 1: MITTAUSLOMAKE

[illegible]

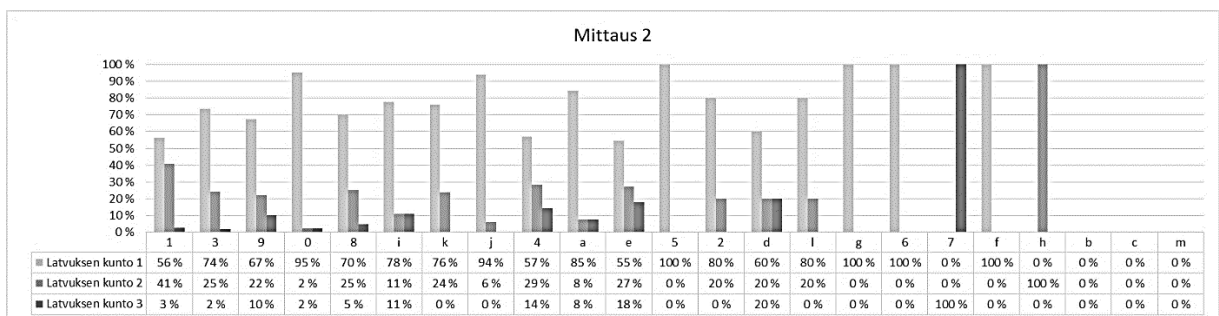
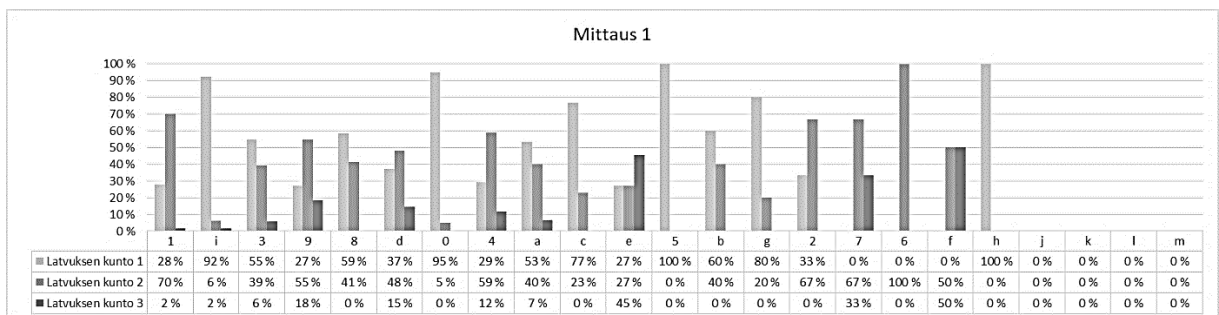
LIITE 2: TAULUKOITA

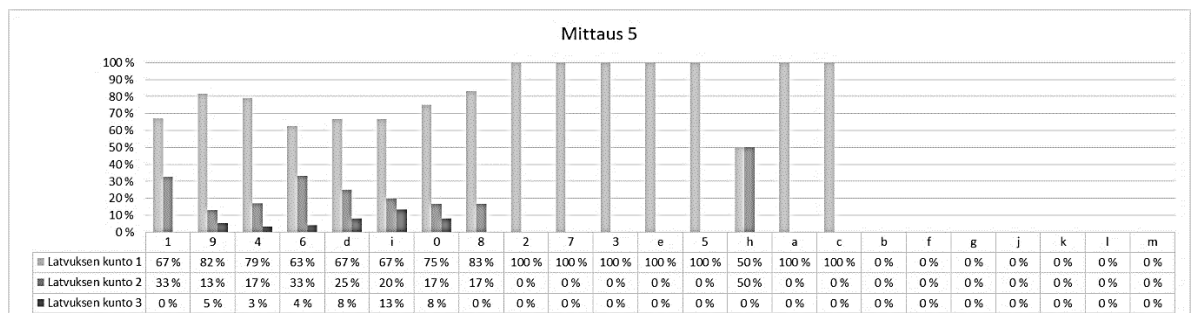
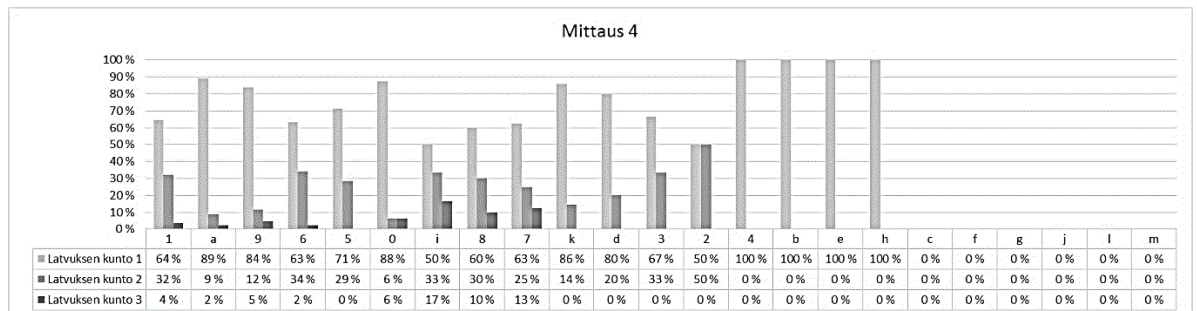
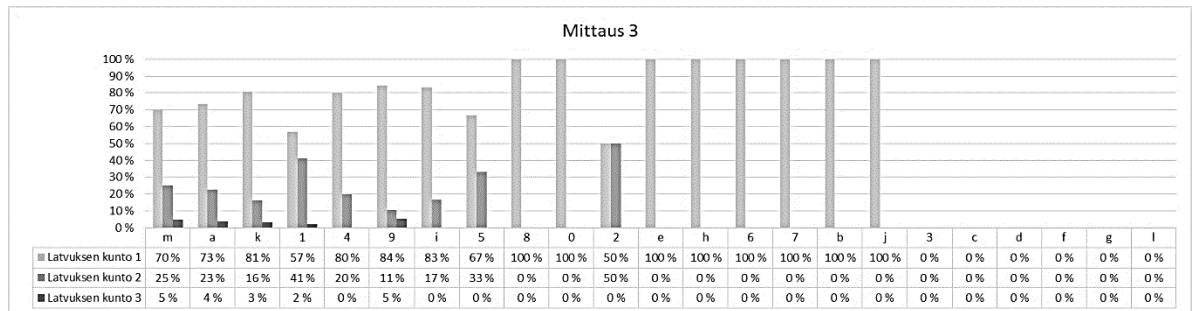
Liite 2.1 Latvuksen kunnon mukaan ehdolliset todennäköisyydet tuhonaiheuttajalle





Liite 2.2 Tuhonaiheuttajan sisäiset ehdolliset todennäköisyydet latvuksen kunnolle





Liite 2.3 Tuhonaiheuttajien osuudet mittauskerran tuhosta

